



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

AUTOR

Lucius Francisco Larrea Sagástegui

ASESOR

Ing. Martín Sifuentes Inostroza

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Generación, Transmisión y Distribución.

TRUJILLO – PERÚ

2019

PÁGINA DEL JURADO

“Estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.”

Autor: Lucius Francisco Larrea Sagástegui

Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez

Presidente

Ing. Martín Sifuentes Inostroza

Secretario

Ing. Luis Julca Verástegui

Vocal

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme en cada paso que doy dentro de mi vida como persona y por ayudarme a superar todas las dificultades que se me presentaron hasta el día de hoy para poder llegar a este camino final de mi formación como profesional.

A mis padres Aurea Dorinda Sagástegui Espinaque y Lucius Francisco Larrea Navarrete por todo el esfuerzo que hicieron para poder brindarme un mejor futuro, por ser siempre un buen ejemplo para mí, por su confianza, por su apoyo incondicional y por el amor que me dieron en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme en todo momento, por guiarme por el buen camino y por darme las fuerzas para salir siempre adelante y vencer todo obstáculo que se me presente.

A mis padres Aurea Dorinda Sagástegui Espinaque y Lucius Francisco Larrea Navarrete por brindarme su amor, su paciencia, su comprensión, por apoyarme económicamente y emocionalmente a conseguir este tan anhelado sueño.

A mi hermano Eddy Miguel Burgos Sagástegui por su apoyo y sus consejos durante mi formación como profesional y por ser siempre un ejemplo que seguir como Ingeniero Mecánico Eléctrico.

A mis asesores y maestros durante mi formación universitaria por inculcarme conocimientos, valores y consejos que me ayudarán a desenvolverse dentro de mi vida profesional.

Gracias a cada uno de ustedes por formar parte de esta etapa de mi vida, de antemano les ofrezco mi estima y respeto por siempre.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Lucius Francisco Larrea Sagástegui con DNI N° 71492182 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería mecánica eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto en lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Julio del 2019.

Lucius Francisco Larrea Sagástegui

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada Estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A., la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

El autor.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad Problemática.....	2
1.2 Trabajos previos	3
1.4. Formulación del Problema	18
1.5. Justificación del estudio	18
1.6. Hipótesis.....	18
1.7. Objetivos	19
Objetivo General:	19
Objetivos Específicos:.....	19
II. MÉTODO	20
2.1. Diseño de investigación:	21
2.2 Variables, Operacionalización	22
2.2.1. Variables independientes:	22
2.2.2. Variables dependientes:.....	22
2.2.3. Operacionalización de variables.....	25
2.3. Población y muestra	26
2.3.1. Población:.....	26
2.3.2. Muestra:.....	26
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
2.5 Métodos de análisis de datos	26
2.6 Aspectos Éticos:	26
III. RESULTADOS.....	27
IV. DISCUSIÓN	113
V. CONCLUSIONES.....	119
VI. RECOMENDACIONES.....	127
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	129
ANEXO.....	131

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de realizar un estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A. La investigación es aplicada, pre experimental y se realizó en base a la información obtenida del análisis documental de la empresa, para corroborar la información se realizaron balances energéticos en estado actual, luego se procedió a calcular los nuevos parámetros de funcionamiento del turbogenerador Escher Wyss para generar los 5 MW de potencia, posteriormente se calculó el flujo másico de agua y la capacidad necesaria para el nuevo condensador industrial y torre de enfriamiento a implementar, también se tuvo que redimensionar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado, se dimensionaron los conductores de media y baja tensión, culminado con el análisis económico de la investigación; obteniendo los siguientes resultados:

El rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14% y el flujo másico de vapor para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es de 17.853 Kg/s.

El flujo másico de agua de condensación que necesita el condensador industrial es 718.122 kg/s.

El condensador industrial a fabricar será de tipo carcasa y tubos, con una capacidad de 48787.406 KW y la torre de enfriamiento seleccionada será una SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 de 50938 KW.

Concluyendo que el estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss es factible en todos los aspectos debido a que se eliminará la dependencia de energía eléctrica del SEIN, generará grandes ingresos económicos para la empresa con la venta del excedente de la misma, contribuye con el ahorro de combustible en las calderas y su periodo de retorno de inversión es de tan solo 3.6 meses.

Palabras clave: Condensador industrial, turbogenerador, torre de enfriamiento.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of carrying out an economic technical study of the installation of industrial condenser and cooling tower to optimize the operation of the Escher Wyss turbogenerator in the sugar company El Ingenio S.A. The research was applied, pre-experimental and was carried out based on the information obtained from the documentary analysis of the company, to corroborate the information were realized energy balances in current state, then proceeded to calculate the new operating parameters of the turbine generator Escher Wyss Generating the 5 MW of power, subsequently calculating the mass flow of water and the capacity required for the new industrial condenser and cooling tower to be implemented, also had to scale the distribution system of superheated steam, saturated steam and saturated liquid, Medium and low voltage conductors were dimensioned, culminating with the economic analysis of the research; Obtaining the following results:

The current yield of the thermodynamic cycle is 14% and the mass flow of steam to generate the 5MW of electrical energy in the Escher Wyss turbogenerator is 17,853 kg / s.

The mass flow of condensation water required by the industrial condenser is 718,122 kg / s.

The industrial capacitor to be manufactured will be a shell and tube type, with a capacity of 48787.406 KW and the selected cooling tower will be a SICREA model COOLPACK SR2920 / OU-7T-C70.34 of 50938 KW.

Concluding that the economic technical study of the installation of an industrial condenser and cooling tower to optimize the operation of the Escher Wyss turbogenerator is feasible in all respects because it will eliminate the dependency of electrical energy of the SEIN, it will generate great economic income for the company With the sale of the surplus of the same, contributes with the saving of fuel in the boilers and its period of return of investment is of only 3.6 months.

Keywords: Industrial condenser, turbogenerator, cooling tower.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

La Empresa Agroindustrial El Ingenio, tiene como principal función la producción de azúcar de alta calidad orientada a atender al sector industrial peruano, sus actividades se desenvuelven en la Provincia de Huaura, en Perú; y cuenta con 7,137 hectáreas cultivadas en caña de azúcar de las cuales más del 30% están sembradas en el desierto Limeño.

Actualmente la empresa cuenta con dos calderas Acuotubulares, las cuales alimentan dos líneas de trabajo de 2 turbogeneradores (Escher Wyss y Brown Boveri), que producen actualmente 1.6 MW y 1.5 MW de energía eléctrica respectivamente. Según su carga nominal el turbogenerador Escher Wyss tiene una capacidad de producción de energía eléctrica de 5MW, mientras que el turbogenerador Brown Boveri tiene una capacidad máxima de 2MW.

La planta en la actualidad tiene un consumo de 4.3 MW de energía eléctrica, pero genera solamente 3.1 MW, comprando a la empresa concesionaria Edelnort 1.2 MW, operando en promedio 8395 h/año a un precio unitario de 0.08 \$/KWh, obteniendo un costo anual de 805920 \$/año

Los turbogeneradores Escher Wyss y Brown Boveri utilizan una turbina de condensación pura. El primero es utilizado para los diferentes procesos de la planta destiladora y el segundo turbogenerador Brown Boveri es utilizado para alimentar de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua, para regar todas las hectáreas sembradas. Las dos líneas de trabajo de la empresa son refrigeradas por un sistema centralizado de torres de enfriamiento el cual cubría con la demanda de agua de la planta.

Como la organización está en expansión o crecimiento, se ha elevado la demanda de agua refrigerada por la cual fue diseñado el sistema de torres de enfriamiento, y no cubre con la bastante agua para los dos procesos.

La dificultad es que, si la planta industrial El Ingenio tiene una demanda mayor de su producto, se interrumpe con el sistema de generación de energía que es alimentado por el turbogenerador y no cumple con la demanda requerida para el sistema de bombeo de la empresa. Y también sucede por lo contrario cuando se desea generar más energía eléctrica, se ve afectado el sistema de producción, y la empresa tiene que estar en ese dilema.

Con la finalidad de resolver el problema descrito se plantea realizar un estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A y dejar de comprar E.E. al SEIN.

1.2 Trabajos previos

- **(Carías,2010)** en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala (Guatemala), titulada: “Análisis termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, Ingenio Tzulá”.

La siguiente investigación tiene como objetivo el estudio y análisis termodinámico de las condiciones de trabajo actuales de la torre de enfriamiento, para luego poder presentar una propuesta de mejora de eficiencia. En primera instancia se diseñó la torre para un consumo de potencia y producción de vapor, pero la empresa al entrar en fase de expansión se vio afectada en su producción de agua de refrigeración, debido a que la demanda se incrementó y que la torre instalada no podía satisfacer la misma, aunque trabaje a su capacidad nominal, es por eso que surge la necesidad de mejorar la eficiencia de la torre, por medio de un equipo auxiliar, equipo con el cual la empresa ya cuenta.

Concluyendo que la torre de enfriamiento W400 que actualmente trabaja es insuficiente para enfriar el agua que utiliza el condensador del área de cogeneración, ya que el caudal para el cual fue diseñada era de 1009.443 Kg/s y actualmente circula un caudal de 1236.568 Kg/s con base en el análisis termodinámico efectuado. El tiempo de recuperar la inversión en el proyecto de montaje e instalación de la torre NC8305 se establece en 5 meses de trabajo.

- **(Oropín,2006)** en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala (Guatemala), titulada: “Cálculo y diseño eléctrico de una cocina industrial y estudio de transferencia de calor en una torre de enfriamiento y su influencia en la eficiencia del ciclo Rankine, en el Ingenio azucarero Santa Ana”. Explica que tuvo como objetivo optimar la eficiencia

en la operación del turbogenerador de 25 MW de la planta de cogeneración del ingenio, se adquirió una torre de enfriamiento para el condensador dentro del ciclo de vapor. Para encontrar la eficacia de este sistema se hizo un estudio del mismo para entender su funcionamiento, donde se tomó las mediciones necesarias dentro de un ciclo de operación del mismo, y luego se realizó el procedimiento necesario para el análisis del sistema de vapor.

Concluyendo, que con base en el análisis termodinámico efectuado sobre el ciclo regenerativo de la unidad de 25 MW, se pudo determinar que el rendimiento térmico del ciclo es del 53%, valor por encima del publicado por la CONAE (52%), lo que indica que generación de energía eléctrica del sistema convierte correctamente la energía del vapor en energía mecánica para la generación de energía eléctrica.

- **(Ríos,2015)** en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la universidad Cesar vallejo, titulada “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash”. La investigación tiene como finalidad instalar un sistema de enfriamiento: torre y condensador, porque el condensado sale a través de trampas de vapor pero en estado de vapor húmedo, el cual no puede ingresar en este estado a las bombas de agua de alimentación, utilizando un condensador industrial para convertir el condensado en líquido saturado, el cual sin ningún problema de operación puede ser bombeado por las bombas de agua de alimentación. La empresa pesquera Ribaud S.A, tiene 5 calderas pirotubulares de producción de vapor saturado seco, con una potencia instalada de 2900 BHP: 2 de 400 BHP, 1 de 600BHP, 700 BHP y 800 BHP. Este vapor es utilizado en los procesos de intercambio de calor como: cocinadores, secadores a vapor, secadores de aire caliente, secadores de aceite térmico, evaporadores, prensa, otros, donde también parte de dicho vapor se utiliza para el calentamiento del agua de alimentación de las calderas, calentándola a una temperatura promedio de 60°C. A si mismo tiene problemas con elevado costo del agua de alimentación de las calderas, consumiendo 46.2 m³/h, operando 2160 horas/año, tendríamos un consumo anual de agua, de 99792 m³/año, la empresa compra el agua a un costo unitario de 1.75 S./ m³, pagando 174636.00 S./ año a esto se le debe sumar el costo anual para tratar el agua que es proveniente de pozos,

de 60000.00 S./ año, obteniendo un costo total de 234636.00 S./ año y esto es debido a que no recupera el condensado de los procesos de intercambio de calor, pudiéndose recuperar entre el 70% a 80% del condensado. Concluyendo que el beneficio de este proyecto traerá consigo una reducción en el consumo de combustible debido a que se elevará la temperatura del agua de alimentación de las calderas, debido a la elevada temperatura del condensado.

1.3. Teorías relacionadas al tema

Balance de masa y energía (Cengel y Boles, 2011).

Balance de masa

$$\sum \dot{m}_{\text{entrada}} = \sum \dot{m}_{\text{salida}} \quad \dots (1)$$

Dónde:

- $\sum \dot{m}_{\text{entrada}}$: Sumatoria de flujos máscicos de entrada
- $\sum \dot{m}_{\text{salida}}$: Sumatoria de flujos máscicos de salida

Balance de energía

$$\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} = \sum \dot{Q}_{\text{salida}} \quad \dots (2)$$

Dónde:

- $\sum \dot{Q}_{\text{entrada}}$: Sumatoria de calores de entrada.
- $\sum \dot{Q}_{\text{salida}}$: Sumatoria de calores de salida.

Condensador Industrial

El condensador es un intercambiador de calor que usa agua de refrigeración para condensar vapor, esta depende de la temperatura permitida al agua de refrigeración y el volumen de vapor que se genere, es decir, de la carga de la planta.

El condensador es un cilindro donde se descarga el vapor y en su interior tiene una cantidad de tubos por donde circulara el fluido refrigerante. Su función principal es condensar el vapor de escape de la turbina, así mismo como eliminar gases incondensables del condensado (García y Fraile, 2008, p138-139).

Tipos de condensador según su construcción

Condensador de carcaza y tubo. - Es un conjunto de tubos dentro de un contenedor llamado carcaza. El fluido dentro de los tubos es conocido como flujo interno y aquel que fluye por el exterior de ellos como fluido de carcaza o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcaza por las placas del tubo. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la cáscara. Esto se debe a los costos en materiales, los tubos del intercambiador de calor se pueden fabricar para soportar presiones tres veces más altas que la cáscara del cambiador con un costo mucho más bajo (Jaramillo,2007, p. 3).

Condensador de plato. - Consiste en usar placas para distanciar a los dos fluidos caliente y frío, estos cambian entre cada uno de las placas y los baffles y dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de estas tiene un área superficial muy grande, las placas suministran un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcaza y tubos con volumen semejante, esto se debe a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos (Jaramillo,2007, p. 4).

Parámetros de operación del condensador industrial (Incropera, 1999)

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + R_{t,a} + \frac{e_t}{K_t} + R_{t,v} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad \dots (3)$$

Dónde:

- h_{int} : Coeficiente de convección interior del fluido

- $R''_{t,a}$: Resistencia térmica de ensuciamiento del agua
- e_t : Espesor de la tubería
- K_t : Conductividad térmica de la tubería
- $R''_{t,v}$: Resistencia térmica de ensuciamiento del vapor
- h_{ext} : Coeficiente de convección exterior del fluido

Temperatura media logarítmica para flujo a contracorriente

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{m\acute{a}x} - \Delta T_{m\acute{m}n}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{m\acute{a}x}}{\Delta T_{m\acute{m}n}}\right)} \quad \dots (4)$$

Dónde:

- $\Delta T_{m\acute{a}x}$: Diferencia de temperatura máxima, $\Delta T_{m\acute{a}x} = T_{sat} - T_{ag\ 2}$
- $\Delta T_{m\acute{m}n}$: Diferencia de temperatura mínima, $\Delta T_{m\acute{m}n} = T_p - T_{ag\ 1}$

Superficie de intercambio de calor

$$S_{IC} = \frac{\dot{Q}_u}{U * \Delta T_m} \quad \dots (5)$$

Dónde:

- \dot{Q}_u : Calor útil del intercambiador de calor
- U : Coeficiente global de transferencia de calor
- ΔT_m : Temperatura media logarítmica

Caldera acuotubular

Constituye el tipo de calderas de vapor de uso más frecuente y su principal característica es que el agua circula por el interior de los tubos de intercambio de calor y los gases circulan por el exterior de ellos. El costo originario de una caldera acuotubular es más alto que el de una caldera piro tubular, sin embargo, una mayor eficiencia compensará este costo inicial (García y Fraile, 2008, p. 120).

Cuando se necesita obtener elevadas presiones las calderas acuotubulares son las más usadas, debido a los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones estos se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión. La circulación del agua alcanza velocidades enormes con lo que se consigue una alta eficiencia en la transmisión de calor.

Parámetros de operación de la caldera (Cengel y Boles, 2011)

Flujo másico de aire

$$\dot{m}_a = R_{\frac{a}{cble}} * \dot{m}_{cble} \quad \dots (6)$$

Dónde:

- \dot{m}_a : Flujo másico de aire
- $R_{\frac{a}{cble}}$: Relación aire – combustible
- \dot{m}_{cble} : Flujo másico de combustible

Flujo másico de gases residuales

$$\dot{m}_{GR} = \left(1 + R_{\frac{a}{cble}}\right) * \dot{m}_{cble} \quad \dots (7)$$

Dónde:

- \dot{m}_{GR} : Flujo másico de gases residuales
- $R_{\frac{a}{cble}}$: Relación aire – combustible
- \dot{m}_{cble} : Flujo másico de combustible

Rendimiento energético de la caldera

$$\eta_{cald.} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{ag})}{\dot{m}_{cble} * \left(PCI + h_{cble} + R_{\frac{a}{cble}} * h_a\right)} \quad \dots (8)$$

Dónde:

- \dot{m}_v : Flujo másico de vapor sobrecalentado
- h_v : Entalpía del vapor sobrecalentado
- h_{ag} : Entalpía del agua de alimentación
- \dot{m}_{cble} : Flujo másico de combustible
- PCI: Poder calorífico inferior del combustible
- h_{cble} : Entalpía del combustible
- h_a : Entalpía del aire

Torre de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son los dispositivos encargados de disipar grandes cantidades de calor, que se generan en los procesos industriales. El medio más utilizado para la eliminación de calor es el agua, y las torres de enfriamiento son los equipos más eficientes para su disipación. En ellas, el agua caliente se pone en contacto con una corriente de aire para beneficiar el enfriamiento (Contreras, 2010, p. 36).

Una opción que permite ahorrar agua y reducir los costos económicos consiste en enfriar el agua mediante una torre de enfriamiento y devolverla de nuevo al circuito.

Clasificación:

Actualmente se utilizan dos tipos de torres; el de tiro natural y el de tiro mecánico, este último se divide en torres de tiro forzado y de tiro inducido, subdividiéndose este último en flujo a contracorriente y flujo cruzado.

Torre de tiro natural: en las torres de tiro natural, el flujo de aire depende de la atmósfera circundante, la que forma la diferencia en densidades entre el aire más caliente dentro de la torre y la atmósfera externa; la velocidad del viento también afecta el funcionamiento (Contreras, 2010, p. 38).

Torre de tiro mecánico: utilizan ventiladores para mover el aire con mayor velocidad, y esto permite acelerar el enfriamiento del agua y aumentar la eficiencia de la torre. Tienen empaques para proporcionar un buen contacto entre el aire y el agua, pero con una mínima caída de presión del aire (Contreras, 2010, p. 38).

Torres de tiro forzado. - el ventilador se coloca en el fondo de la torre de enfriamiento y se hace entrar el aire por el fondo de la misma y se descarga con baja velocidad por la parte superior. Esta manera de uso tiene la ventaja de ubicar el ventilador y el motor propulsor fuera de la torre, sitio muy provechoso para la inspección, el mantenimiento y la reparación de los mismos. Como el equipo queda fuera de la parte superior caliente y húmeda de la torre, el ventilador no está sometido a condiciones corrosivas (Contreras, 2010, p. 39).

Torres de tiro Inducido. - Los ventiladores están colocados a la salida del flujo de aire. Tienen una velocidad de descarga del aire de 3 a 4 veces mayor que la

velocidad del aire de entrada, evitándose la recirculación del aire húmedo y caliente. La colocación del aire es mucho más uniforme. La localización de los 40 ventiladores en una posición elevada puede conducir a problemas estructurales y de ruido. Se pueden construir en grupos o celdas que son pequeñas subdivisiones de la torre, las cuales pueden funcionar como una unidad independiente (Contreras, 2010, p. 39).

Este tipo de torres a su vez pueden ser de flujo a contracorriente o de flujo cruzado.

Torres a contracorriente o contra flujo: el aire se mueve verticalmente a través de la torre y se pone en contacto sobre el relleno, con el líquido que se descarga por las boquillas y desciende hasta llegar al fondo, Estas torres requieren mayor altura de bombeo. Su proporción es más eficaz ya que el agua más fría entra en contacto con el aire frío en el fondo de la torre, obteniéndose un potencial máximo de entalpía. Presenta un incremento en la potencia del ventilador como resultado del flujo de aire en la dirección opuesta al flujo de agua (Contreras, 2010, p. 40).

Torres de flujo cruzado: tienen una configuración a través del cual el aire fluye horizontalmente y se pone en contacto en forma cruzada con el agua que desciende. Ofrecen menos resistencia al flujo de aire ya que operan a velocidades más elevadas y muestran una reducción en la fuerza del ventilador. Sin embargo, pueden mostrar problemas por inducción del aire saturado que sale por la parte superior de la torre si el inducido de los ventiladores no es el adecuado (Contreras, 2010, p. 40).

Componentes principales de una torre de enfriamiento

Los componentes de una torre de enfriamiento son prácticamente las mismas para las de tipo forzado e inducido.

Pulverizadores:

Estos elementos forman parte del sistema de distribución de agua. Su misión es la de dividir la corriente de agua hasta conseguir un tamaño lo más pequeño posible compatible con el arrastre del aire. La finalidad de esta división es la de aumentar la

superficie de contacto entre aire agua, favoreciendo la transmisión de calor. Una vez dividida el agua, esta cae al relleno. La mayor ventaja de la utilización de dispersores a presión frente a la salpicadura es el mayor fraccionamiento de gotas, aumentando la capacidad de transferencia de calor de la torre de enfriamiento (Manzano, 2012, p. 44).

Esta zona, mostrada en la imagen inferior (Figura 03), se llama zona de dispersión o zona de spray y normalmente tiene una distancia de 0,8 a 1m de longitud, distancia de separación entre los pulverizadores y el relleno para la correcta dispersión y homogenización del reparto de agua

Separador de gotas

Su finalidad de detener las gotas de agua que arrastra la corriente de aire al salir de la torre. Este objetivo se consigue mediante un cambio brusco de la dirección (60 ° la más segura) del aire al salir. Esta variación incita que el agua arrastrada se deposite sobre la superficie del separador de gotas, cayendo posteriormente al relleno.

La existencia del separador tiene tres ventajas:

- La reducción de pérdidas de agua
- Evitar daños en el entorno de la torre, y sobre todo si el agua de aporte a la torre es agua salada.
- Limitar la formación de neblinas (García y Fraile, 2008, p. 162).

Relleno

Tiene una vital importancia para el intercambio de calor ya que debe proporcionar:

- Una superficie de intercambio lo más grande posible entre el agua que cae y el aire que asciende.
- Retardar el tiempo de caída del agua, del proceso de intercambio.

Las características de un relleno deben ser:

- Su diseño debe permitir fácilmente del aire entre él.
- Debe ser resistente al deterioro ambiental, químico y térmico.
- Se debe realizar con un material de bajo coste debido a la cantidad que se emplea, debe ser de fácil colocación (García y Fraile, 2008, p. 162).

Ventilador

Son los encargados de crear el flujo de aire. Estos trabajan en condiciones duras, debido a que están consecutivamente en funcionamiento, en un clima de elevada humedad y temperatura.

El número de aspas influye directamente sobre la presión ejercida, es decir a mayor número de aspas menor presión se ejerce sobre ellas. Estas suelen ser de plástico o aluminio, por su ligereza y resistencia a la corrosión (García y Fraile, 2008, p. 163).

Bombas de impulsión

“Se utilizan para que el agua ya enfriada alcance presión suficiente como para llegar a los diferentes elementos a enfriar y posteriormente subir el agua ya calentada a la parte superior de la torre” (García y Fraile, 2008, p. 163).

Balsa

“Situada en la parte inferior de la torre es el depósito de agua fría de la torre” (García y Fraile, 2008, p. 163).

Parámetros de operación de la torre de enfriamiento (Cengel y Boles, 2011)

Flujo másico de aire seco:

$$\dot{m}_{as} = \frac{\dot{m}_{agc} * (h_{agc} - h_{agf})}{(1 + X_{ac}) * h_{ac} - (1 + X_{af}) * h_{af} - (X_{ac} - X_{af}) * h_{ar}} \quad \dots (9)$$

Dónde:

- h_{agc} : Entalpía de agua caliente
- h_{agf} : Entalpía de agua fría
- X_{af} : Calidad del aire frío
- h_{af} : Entalpía del aire frío
- X_{ac} : Calidad del aire caliente
- h_{ac} : Entalpía del aire caliente
- h_{ar} : Entalpía de agua de reposición

El flujo másico de agua de reposición:

$$\dot{m}_{ar} = \dot{m}_{as} * (X_{ac} - X_{af}) \quad \dots (10)$$

Dónde:

- \dot{m}_{ar} : Flujo másico de agua de reposición.
- \dot{m}_{as} : Flujo másico de aire seco.
- X_{ac} : Calidad del aire caliente.
- h_{af} : Entalpía del aire frío

Dimensionamiento de Tuberías

Flujo másico de vapor

$$\dot{m}_v = \rho_v * U_v * S \quad \dots (11)$$

Donde:

- \dot{m}_v : Flujo másico de vapor
- U_v : Velocidad del vapor
- S : área transversal de la tubería de vapor

Sección de la tubería

$$S = \frac{\pi * d_{int}^2}{4} \quad \dots (12)$$

Diámetro interior de la tubería

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \quad \dots (13)$$

Cálculo del Número de Cedula

$$SCH = 1000 \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{m\acute{a}x.}} \right) * f. s \quad \dots (14)$$

Dónde:

- σ_t : presión de trabajo (Bar@).

- $\sigma_{\text{máx.}}$: esfuerzo de trabajo (Bar@).
- F.s: factor de seguridad.

Selección de una bomba hidráulica

“Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve” (Mott, 2006, p.80).

Si se tiene el flujo volumétrico o caudal y la altura energética se puede determinar la potencia de accionamiento de la bomba:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H_{\text{neta}}}{1000 \cdot \eta_v} \quad \dots (15)$$

Dónde:

- P: Potencia consumida por la bomba [kw]
- g: Aceleración de la gravedad $\left[9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
- \dot{V} : Caudal de circulación de agua $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$
- H_{neta} : Altura energética [m. c. a]
- η_v : Rendimiento volumétrico de la bomba

Carga neta positiva de aspiración:

Es la presión mínima en términos absolutos, en metros de columna de agua, sobre la presión de vapor del fluido con el fin evitar la formación de burbujas de vapor, las cuales al ser impulsadas por el rotor van a generar daños en la estructura metálica de la bomba (Mott, 2006, p.83).

Carga Neta Positiva de Aspiración Disponible (NPSH)dis.

$$\text{NPSH}_{\text{dis}} = \frac{P_A - P_v}{\rho g} = \frac{P_1 - P_v}{\rho g} + Z_1 - H_{\text{perdidas totales}} \quad \dots (16)$$

Pérdidas primarias de carga

En contacto del fluido con la tubería, la fricción entre las capas del fluido en el régimen laminar y el rozamiento de las partículas de fluido entre sí en el régimen turbulento, origina pérdidas de energía hidráulica llamadas pérdidas primarias o pérdidas en tramo recto. Las pérdidas primarias en una tubería son función del factor de fricción, la

longitud y el diámetro de la misma, así como de la velocidad del fluido. Estas se calculan por medio de la fórmula:

$$h_{\text{perdidas mayores}} = f \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \dots (17)$$

Dónde:

- f : Factor de fricción de la tubería (adimensional.)
- L : Longitud de la tubería (m.)
- D : Diámetro de la tubería (m.)

Pérdidas secundarias de carga.

Las pérdidas que se dan en las transiciones de la tubería (restricción, expansión o cambio de dirección de la corriente de fluido), tales como codos, válvulas, contracciones, y en general en todos los accesorios de la tubería, se denominan pérdidas secundarias. (Mott, 2006, p.83).

$$h_{\text{perdidas menores}} = k \frac{v^2}{2g} \quad \dots (18)$$

Dónde:

- k: Coeficiente de pérdida de carga menores [adimensional].
- v: Velocidad media del fluido [m/s].
- g: Aceleración de la gravedad [m/s²].

Análisis por pandeo:

En ingeniería estructural el fenómeno aparece principalmente en pilares y columnas, y se traduce en la aparición de una flexión adicional en el pilar cuando se halla sometido a la acción de esfuerzos axiales de compresión de cierta importancia. (Hibbeler, R. 2011, p 658)

Carga crítica – formula de Euler:

“Es la máxima carga que puede soportar la viga, y se determina según la ecuación”
(Hibbeler, 2011, p 658):

$$P_{cr} = \frac{I * H^2}{E * \pi^2}$$

Dónde:

- P_{cr} : Carga critica de la viga [N]
- E : Módulo de elasticidad o Young [Pa]
- I : Momento de inercia [m⁴]
- H : Altura de la viga [m]

Radio de giro para una columna

$$k = \frac{H}{100} \quad \dots (20)$$

Dónde:

- k : Radio de giro [m]

Análisis Económico

Valor actual neto:

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto (Park, 2009, p.162).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad \dots (21)$$

Dónde:

- VAN : Valor actual neto [\$]
- V_t : Flujos de caja en cada tiempo [\$]
- r : Interés [%]
- n : Número de períodos considerados [años]
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [\$]

Tasa interna de retorno:

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, es el promedio geométrico de los beneficios futuros esperados de dicha inversión, y que implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples, diversos autores la conceptualizan como la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad (Park, 2009, p.248).

Cuando el $VAN=0$, r pasa a llamarse tasa interna de retorno TIR, es decir:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \quad \dots (22)$$

Dónde:

- i : tasa de Interés
- VAN: Valor actual neto [\$]
- V_t : Flujos de caja en cada tiempo [\$]
- r : Interés [%]
- n : Número de períodos considerados [años]
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [\$]

1.4. Formulación del Problema

¿Cuáles son las especificaciones técnicas de un condensador industrial y una torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.?

1.5. Justificación del estudio

- **Relevancia Económica:**

La instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento mejoró la operación del turbogenerador Escher Wyss y permitió eliminar la dependencia con el SEIN (Servicio eléctrico interconectado nacional).

- **Relevancia tecnológica:**

La implementación de nuevas tecnologías energéticas como un condensador industrial y torre de enfriamiento permitió optimizar el turbogenerador Escher Wyss para aumentar la generación de energía eléctrica, logrando que la empresa el Ingenio este un paso más adelante, frente a otras empresas del mismo rubro.

- **Relevancia Socio - Ambiental:**

La aplicación de esta investigación redujo el consumo de agua de alimentación mediante la reutilización del agua de condensado. Además, redujo la carga de energía eléctrica del SEIN contribuyendo así con la preservación del medio ambiente.

1.6. Hipótesis

Si es viable el estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.

1.7. Objetivos

- Objetivo General:

Realizar un estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.

- Objetivos Específicos:

- Realizar un balance masa y energía en estado actual de la planta termoeléctrica
- Determinar los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss para generar 5MW de E.E en bornes del generador eléctrico y de la caldera acuotubular.
- Determinar el flujo másico de agua de condensación para la torre de enfriamiento a implementar para el turbogenerador Escher Wyss y la capacidad necesaria del condensador y torre de enfriamiento.
- Rediseñar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y liquido saturado para los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss.
- Seleccionar y dimensionar un condensador y torre de enfriamiento para el turbogenerador Escher Wyss.
- Rediseñar el sistema de distribución del agua de refrigeración de la torre de enfriamiento al condensador y viceversa.
- Dimensionar los conductores de baja y media tensión.
- Evaluar a través del análisis económico y financiero el ROI, VAN y el TIR.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación: Pre-experimental

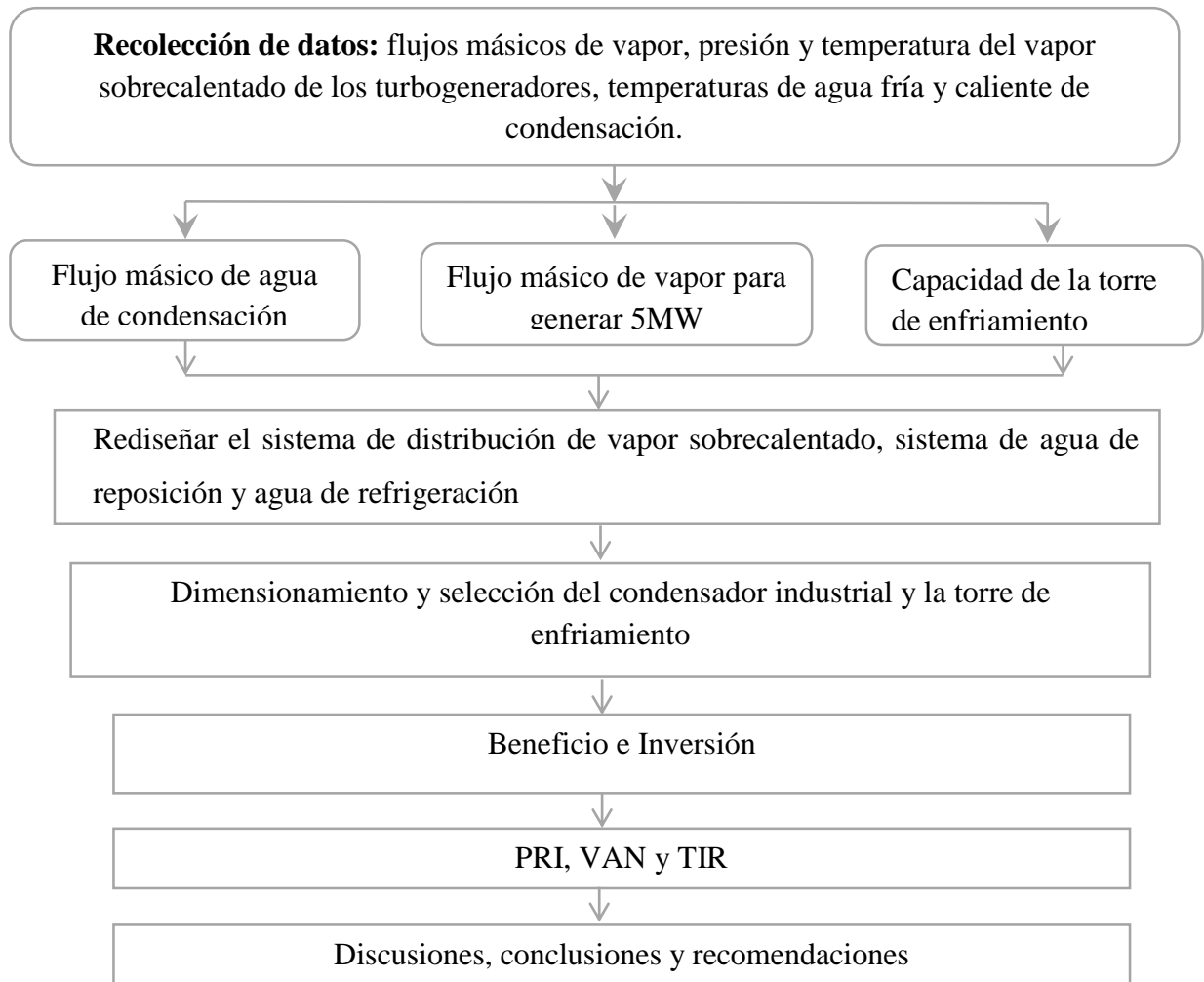


Figura 01. Diagrama de flujo de la investigación. Fuente: El autor

2.2 Variables, Operacionalización.

2.2.1. Variables independientes:

- ✓ Parámetros del caldero (Presión y temperatura del vapor sobrecalentado)
- ✓ Presión del vapor húmedo de escape de la turbina a condensación pura.
- ✓ Pérdidas mecánicas y eléctricas del Turbogenerador Escher Wyss.
- ✓ Temperatura del agua fría y caliente de la torre de enfriamiento.

2.2.2. Variables dependientes:

- ✓ Flujo de agua de condensación de la torre de enfriamiento.
- ✓ Especificaciones técnicas del condensador industrial y torre de enfriamiento.
- ✓ PRI, VAN y TIR

2.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 01.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Presión del vapor sobrecalentado	Es el vapor que se encuentra por encima de su temperatura crítica, pero por debajo de su presión crítica.	Es la presión del vapor sobrecalentado que produce el caldero.	Psi	Razón
Temperatura de vapor sobrecalentado	Es el vapor que se encuentra por encima de su temperatura de saturación.	Es la temperatura de vapor sobrecalentado que produce el caldero.	°C	Razón
Presión del vapor Húmedo	Es el vapor que contiene dos fases, un vapor saturado y la otra líquido saturado.	Es el vapor de evacuación o escape de la turbina a condensación pura	Psi	Razón
Pérdidas mecánicas y eléctricas del turbogenerador	Son las pérdidas por fricción o rozamiento del eje y alternador eléctrico en sus bornes.	Es rendimiento mecánico del eje y rendimiento del generador.	%	intervalo
Temperatura de agua fría y caliente	Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío	Es la temperatura salida y entrada a la torre de enfriamiento.	°C	Intervalo
PRI	Mide en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente.	Es la relación entre la inversión y el beneficio.	años	Intervalo
VAN	Permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros	Esta variable nos da la posibilidad de aceptar o rechazar el proyecto.	\$	Razón
TIR	Tasa de descuento con la que el valor actual neto es igual a cero.	Se utiliza como indicador de la rentabilidad del proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.	%	Intervalo

Humedad relativa	Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.	Es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.	%	Intervalo
------------------	--	---	---	-----------

Fuente: El autor.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población:

Turbogeneradores Escher Wyss y Brown Boveri de la empresa El Ingenio.

2.3.2. Muestra:

Turbogenerador Escher Wyss de la empresa El Ingenio.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de recolección de datos, solo se utilizó como técnica el análisis documental y como instrumento fichas de registro.

Tabla 02.

Técnicas e instrumentos del proyecto

Técnica	Instrumento	Validación
Análisis Documental	Fichas de registros	Asesor especialista

Fuente: El autor.

2.5 Métodos de análisis de datos

El método de análisis que se utilizó fue el siguiente:

Se recolectó la información a través de fichas de registro, donde se reflejaron los datos de los turbogeneradores y las calderas. Luego se calculó los datos usando programa como Excel, software de energía, calculadora y tablas, que nos ayudó a obtener nuestros resultados.

2.6 Aspectos Éticos:

El supervisor de planta de la empresa el Ingenio fue informado del procedimiento, como parte de los criterios de seguridad establecidos por la empresa.

Esta autorización fue aceptada en términos de estado consciente y voluntario por parte del supervisor de planta. El documento será corroborado con las firmas correspondientes y documentos de identificación, ya sea por los mismos técnicos y por la empresa responsable.

III. RESULTADOS

3.1. Balance de masa y energía en estado actual de la planta termoeléctrica

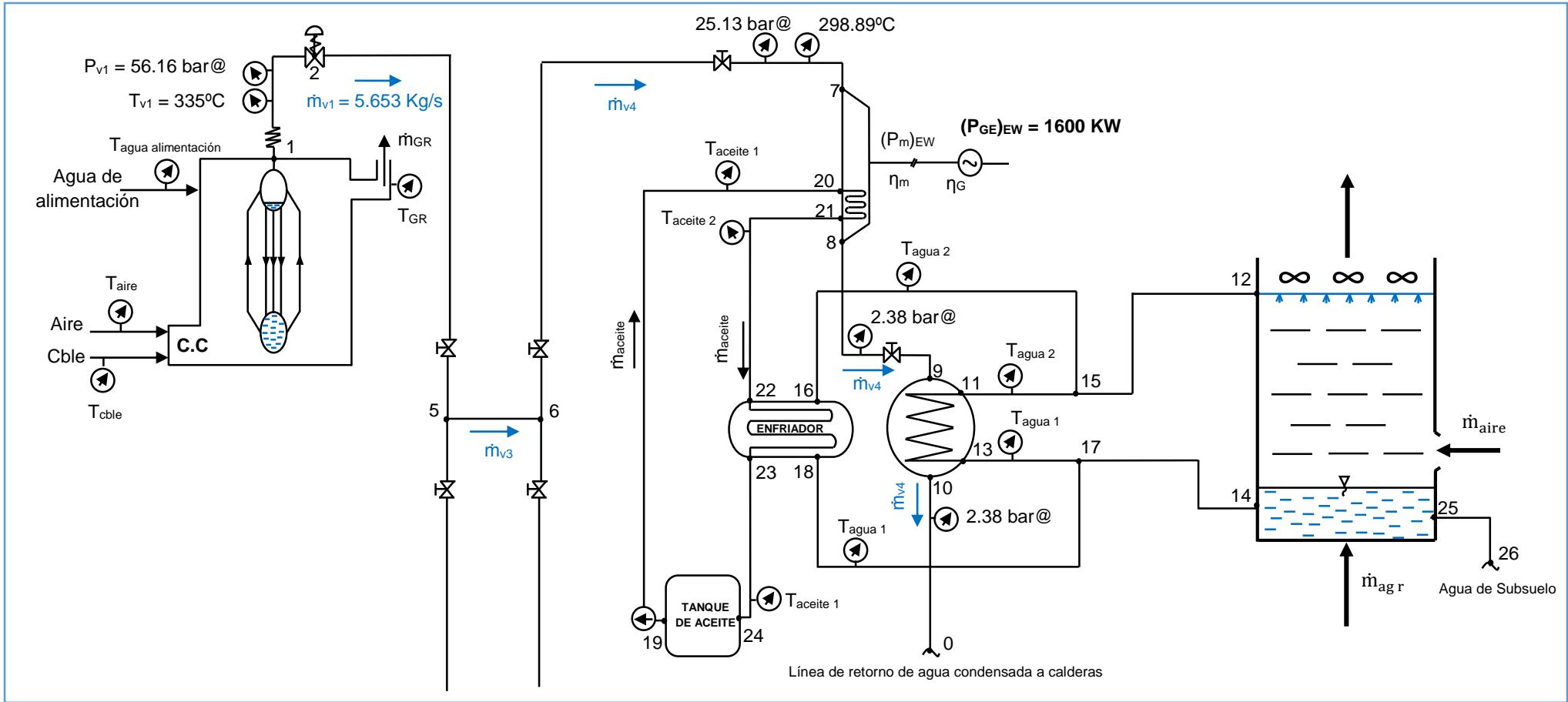


Figura 02. Esquema general de la planta termoeléctrica, parte – 1. Fuente: El Ingenio S.A.

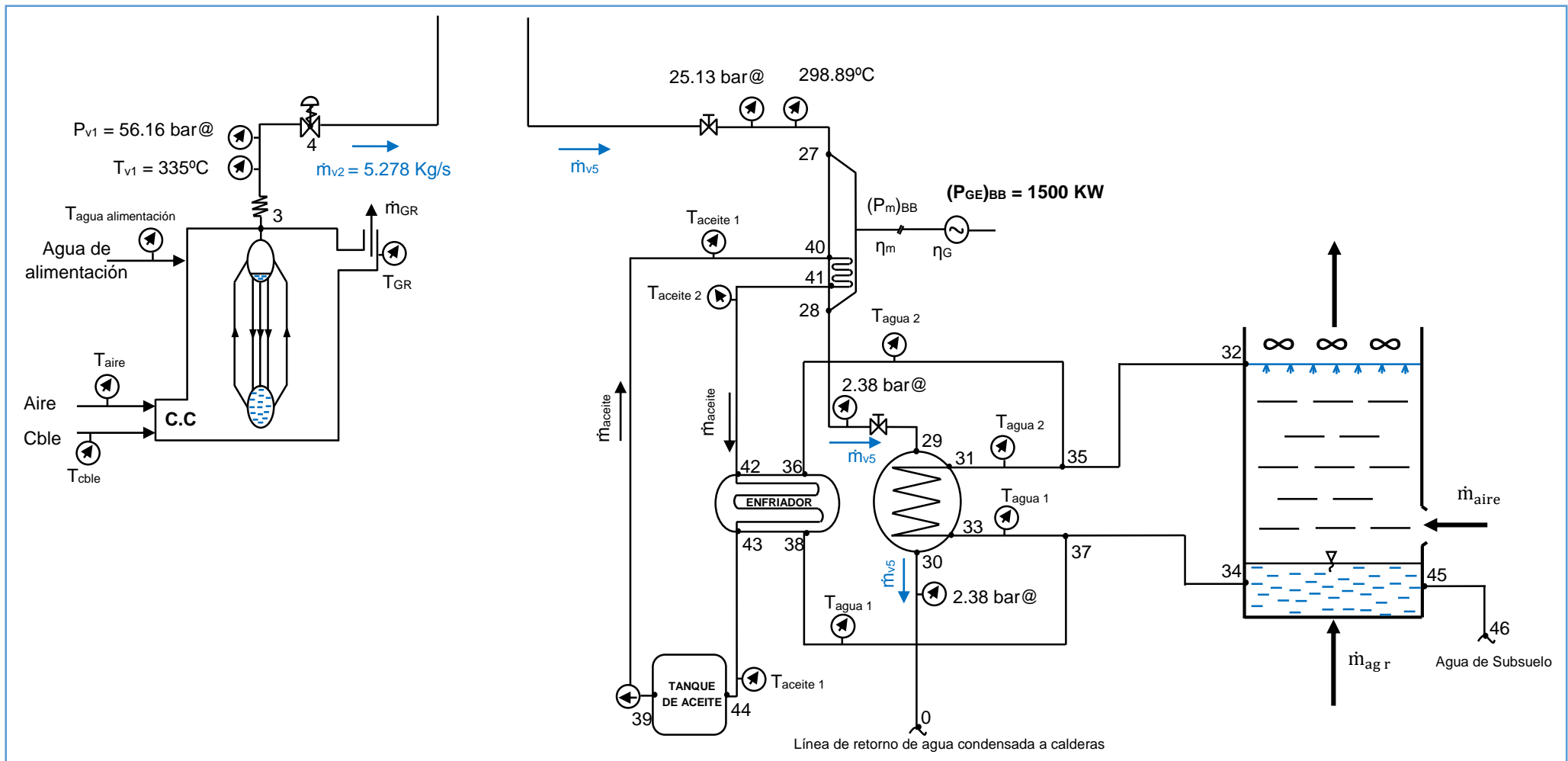


Figura 03. Esquema general de la planta termoeléctrica, parte – 2. Fuente: El Ingenio S.A.

$$\dot{m}_{v1} * h_{ag} + R_{\frac{a}{cble}} * \dot{m}_{cble} * h_a + \dot{m}_{cble}(PCI + h_{cble}) = \dot{m}_{v1} * h_{v1} + \left(1 + R_{\frac{a}{cble}}\right) * \dot{m}_{cble} * h_{GR}$$

$$R_{\frac{a}{cble}} * \dot{m}_{cble} * h_a - \left(1 + R_{\frac{a}{cble}}\right) * \dot{m}_{cble} * h_{GR} + \dot{m}_{cble}(PCI + h_{cble}) = \dot{m}_{v1} * h_{v1} - \dot{m}_{v1} * h_{ag}$$

$$R_{\frac{a}{cble}} * \dot{m}_{cble}(h_a - h_{GR}) + \dot{m}_{cble}(PCI + h_{cble} - h_{GR}) = \dot{m}_{v1}(h_{v1} - h_{ag})$$

$$R_{\frac{a}{cble}} = \frac{\dot{m}_{v1} * (h_{v1} - h_{ag}) - \dot{m}_{cble} * (PCI + h_{cble} - h_{GR})}{\dot{m}_{cble} * (h_a - h_{GR})}$$

Datos:

- $\dot{m}_{v1} = 5.653 \frac{Kg}{s}$
- $h_{v1} = 3007.74 \frac{KJ}{Kg}$ (Determinado a la presión de 56.16 bar@ y a temperatura de 335 °C, Anexo A.1)
- $h_{ag} = 419.1 \frac{KJ}{Kg}$ (Determinado a la temperatura de 100 °C, Anexo A.2)
- $\dot{m}_{cble} = 3.056 \frac{Kg}{s}$
- $PCI = 7420 \frac{KJ}{Kg}$
- $h_{cble} = Cp_{cble} * T_{cble}$

Donde: $T_{cble} = 32^\circ C$ (Anexo A.3) y $Cp_{cble} = 3.489 \frac{KJ}{Kg^\circ C}$ (Anexo A.4)

$$\rightarrow h_{cble} = 3.489 \frac{KJ}{Kg^\circ C} * 32^\circ C = 111.648 \frac{KJ}{Kg}$$

- $h_{GR} = Cp_{GR} * T_{GR}$

Donde: $T_{GR} = 350^\circ C$ y $Cp_{GR} = 1.137 \frac{KJ}{Kg^\circ C}$ (Anexo A.5)

$$\rightarrow h_{GR} = 1.137 \frac{KJ}{Kg^\circ C} * 350^\circ C = 397.95 \frac{KJ}{Kg}$$

- $h_a = Cp_a * T_a$

Donde: $T_a = 32^\circ C$ (Anexo A.3) y $Cp_a = 1.0063 \frac{KJ}{Kg^\circ C}$ (Anexo A.6)

$$\rightarrow h_a = 1.0063 \frac{KJ}{Kg^\circ C} * 32^\circ C = 32.201 \frac{KJ}{Kg}$$

Reemplazando:

$$R_{\frac{a}{cble}} = \frac{5.653 \frac{Kg}{s} * (3007.74 - 419.1) \frac{KJ}{Kg} - 3.056 \frac{Kg}{s} * (7420 + 111.648 - 397.95) \frac{KJ}{Kg}}{3.056 \frac{Kg}{s} * (32.201 - 397.95) \frac{KJ}{Kg}}$$

$$R_{\frac{a}{cble}} = 6.412 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ cble}}$$

b) Flujo másico de aire

$$\dot{m}_a = R_{\frac{a}{cble}} * \dot{m}_{cble}$$

Datos:

- $R_{\frac{a}{cble}} = 6.412 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ cble}}$
- $\dot{m}_{cble} = 3.056 \frac{Kg \text{ cble}}{s}$

Reemplazando:

$$\dot{m}_a = 6.412 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ cble}} * 3.056 \frac{Kg \text{ cble}}{s}$$

$$\dot{m}_a = 19.595 \frac{Kg \text{ aire}}{s}$$

c) Flujo másico de gases residuales

$$\dot{m}_{GR} = \left(1 + R_{\frac{a}{cble}}\right) * \dot{m}_{cble}$$

Datos:

- $R_{\frac{a}{cble}} = 6.412 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ cble}}$
- $\dot{m}_{cble} = 3.056 \frac{Kg \text{ cble}}{s}$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{GR} = \left(1 + 6.412 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ cble}}\right) * 3.056 \frac{Kg \text{ cble}}{s}$$

$$\dot{m}_{GR} = 22.651 \frac{Kg \text{ GR}}{s}$$

d) Rendimiento energético de la caldera acuotubular 01

$$\eta_{\text{cald. } 01} = \frac{\dot{m}_{v1} * (h_{v1} - h_{ag})}{\dot{m}_{\text{cble}} * \left(\text{PCI} + h_{\text{cble}} + R_{\frac{a}{\text{cble}}} * h_a \right)}$$

Datos:

- $\dot{m}_{v1} = 5.653 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $h_{v1} = 3007.74 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{ag} = 419.1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $\dot{m}_{\text{cble}} = 3.056 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $\text{PCI} = 7420 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{\text{cble}} = 111.648 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $R_{\frac{a}{\text{cble}}} = 6.412 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg cble}}$
- $h_{GR} = 397.95 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_a = 32.201 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

Reemplazando:

$$\eta_{\text{cald. } 01} = \frac{5.653 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (3007.74 - 419.1) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{3.056 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (7420 + 111.648 + 6.412 * 32.201) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$\eta_{\text{cald. } 01} = 0.619 = 61.9\%$
--

3.1.1.2. Balance de masa y energía en la caldera acuotubular 02

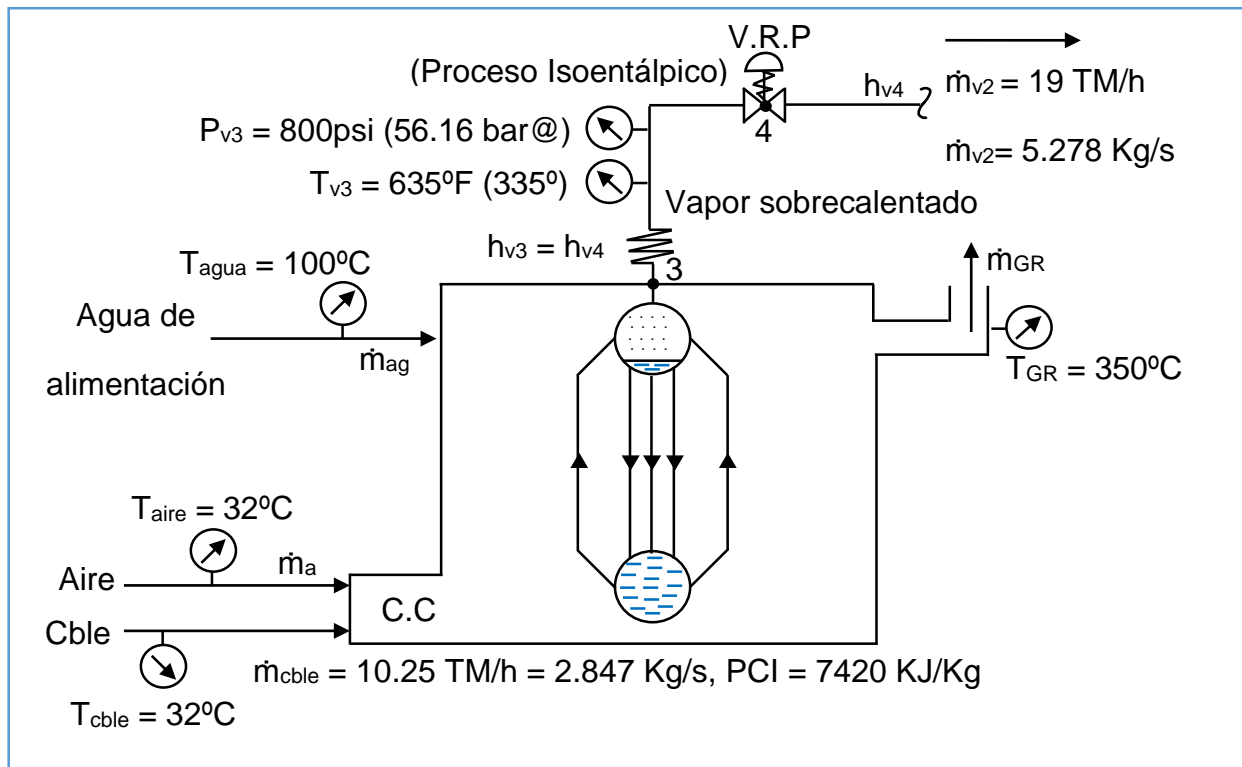


Figura 05. Caldera acuotubular 02. Fuente: El autor

Tabla 03.

Parámetros de operación de la caldera acuotubular 02 en estado actual.

Relación aire – combustible ($R_{\text{a-cble}}$)	F. másico de aire (\dot{m}_{a})	F. másico de gases residuales (\dot{m}_{GR})	Rendimiento energético (η_{caldera})
$6.383 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg cble}}$	$18.172 \frac{\text{Kg aire}}{\text{s}}$	$21.019 \frac{\text{Kg GR}}{\text{s}}$	62%

Fuente: El autor

3.1.2. Balance de masa y energía en los Turbogeneradores

3.1.2.1. Balance de masa y energía en el Turbogenerador Escher Wyss

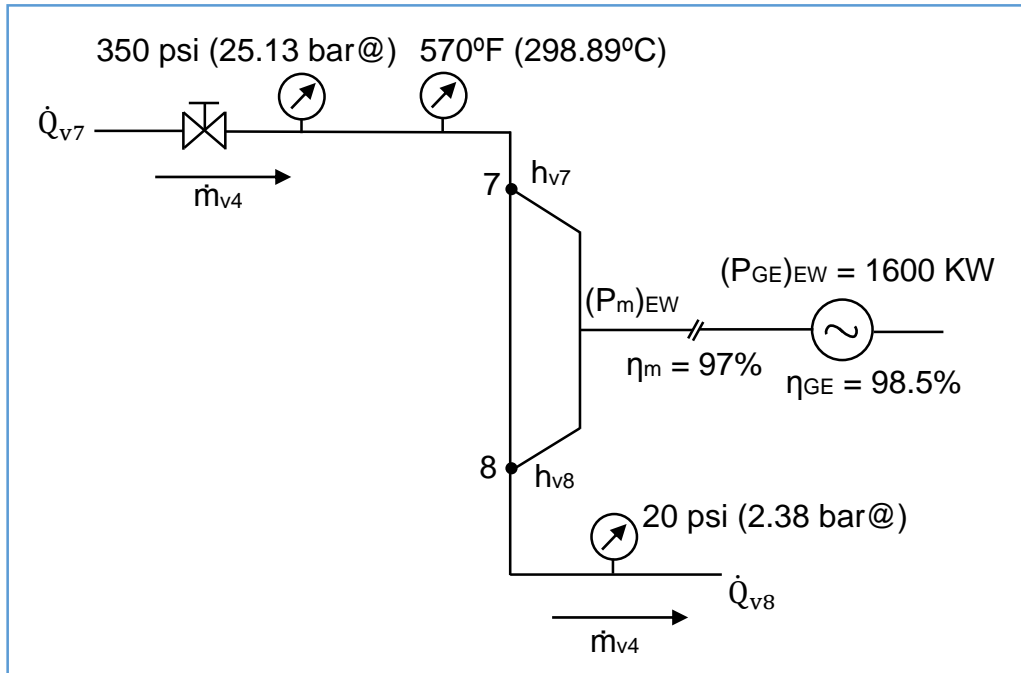


Figura 06. Turbogenerador Escher Wyss. Fuente: El autor

a) Consumo de flujo másico de vapor sobrecalentado

Realizando balance energético al turbogenerador, tenemos:

$$\begin{aligned}\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} &= \sum \dot{Q}_{\text{salida}} \\ \dot{Q}_{v7} &= \dot{Q}_{v8} + (P_m)_{EW} \\ (P_m)_{EW} &= \dot{Q}_{v7} - \dot{Q}_{v8} \\ (P_m)_{EW} &= \dot{m}_{v4} * h_{v7} - \dot{m}_{v4} * h_{v8} \\ (P_m)_{EW} &= \dot{m}_{v4} * (h_{v7} - h_{v8})\end{aligned}$$

También se tiene que la potencia mecánica se determina:

$$(P_m)_{EW} = \frac{(P_{GE})_{EW}}{\eta_m * \eta_{GE}}$$

Entonces:

$$\frac{(P_{GE})_{EW}}{\eta_m * \eta_{GE}} = \dot{m}_{v4} * (h_{v7} - h_{v8})$$

Despejando el flujo másico de vapor:

$$\dot{m}_{v4} = \frac{(P_{GE})_{EW}}{(h_{v7} - h_{v8}) * \eta_m * \eta_{GE}}$$

Datos:

- $(P_{GE})_{EW} = 1600 \text{ KW}$
- $h_{v7} = 3007.74 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la presión de 25.13 bar@ y a la temperatura de 298.89 °C, Anexo A.1)
- $h_{v8} = 2714.62 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la presión de 2.38 bar@, Anexo A.2)
- $\eta_m = 0.97$
- $\eta_{GE} = 0.985$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{v4} = \frac{1600 \text{ KW}}{(3007.74 - 2714.62) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0.97 * 0.985}$$

$\dot{m}_{v4} = 5.713 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 20.567 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$

b) Consumo específico de vapor

$$(C_{ev})_{EW} = \frac{3600}{h_{v7} - h_{v8}}$$

Datos:

- $h_{v7} = 3007.74 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{v8} = 2714.62 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

Reemplazando:

$$(C_{ev})_{EW} = \frac{3600}{(3007.74 - 2714.62) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$(C_{ev})_{EW} = 12.281 \frac{\text{Kg}}{\text{KWh}}$

3.1.2.2. Balance de masa y energía en el Turbogenerador Brown Boveri.

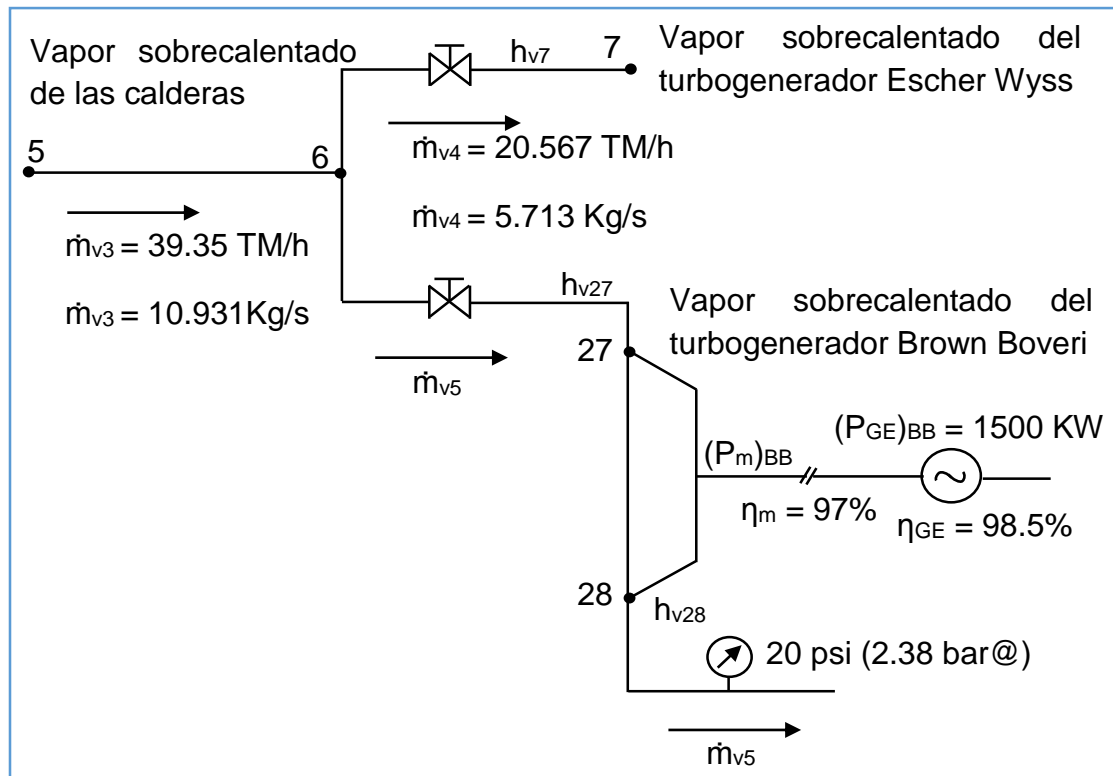


Figura 07. Turbogenerador Brown Boveri. Fuente: El autor

Tabla 04.

Parámetros de operación del turbogenerador Brown Boveri en estado actual.

Consumo de flujo másico de vapor sobrecalentado (\dot{m}_{v5})	Consumo específico de vapor (C_{ev}) _{BB}
5.218 $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	12.281 $\frac{\text{Kg}}{\text{KWh}}$

Fuente: El autor.

3.1.3. Balance de masa y energía en los Condensadores industriales.

3.1.3.1. Balance de masa y energía en el condensador industrial del turbogenerador Escher Wyss.

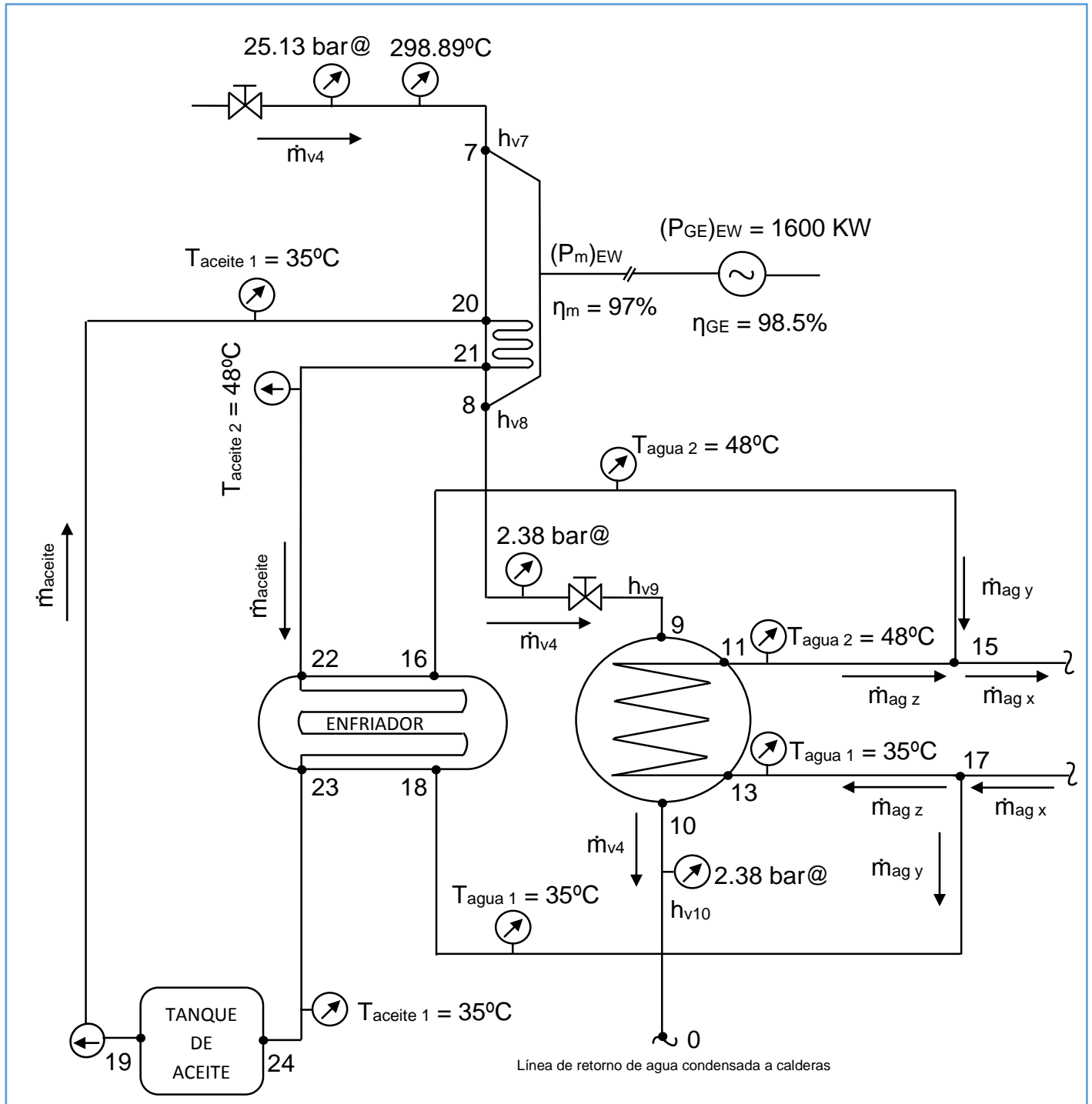


Figura 08. Sistema de refrigeración y condensación del turbogenerador Escher Wyss.
Fuente: El autor.

a) Flujo másico de agua de condensación

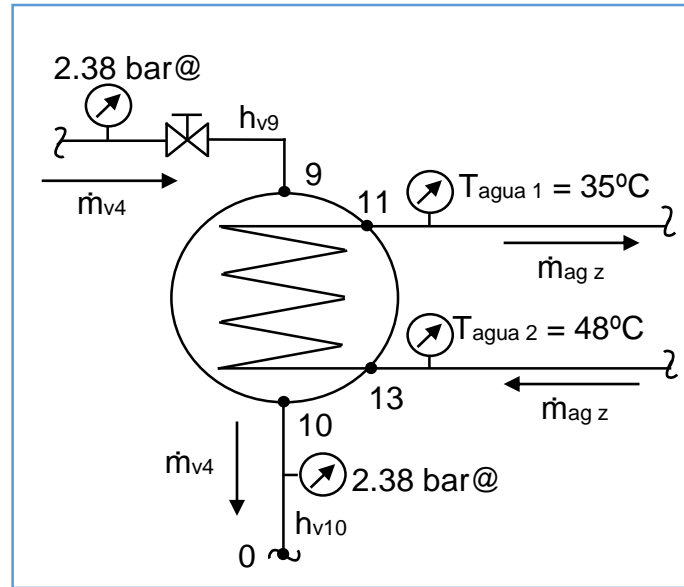


Figura 09. Condensador industrial del turbogenerador Escher Wyss. Fuente: El autor

Realizando balance energético al condensador, tenemos:

$$\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} = \sum \dot{Q}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_{v4} * h_{v9} + \dot{m}_{ag\ z} * h_{ag\ 1} = \dot{m}_{v4} * h_{v10} + \dot{m}_{ag\ z} * h_{ag\ 2}$$

$$\dot{m}_{v4} * (h_{v9} - h_{v10}) = \dot{m}_{ag\ z} * (h_{ag\ 2} - h_{ag\ 1})$$

$$\dot{m}_{ag\ z} = \frac{\dot{m}_{v4} * (h_{v9} - h_{v10})}{h_{ag\ 2} - h_{ag\ 1}}$$

Datos:

- $\dot{m}_{v4} = 5.713 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $h_{v9} = 2714.62 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la presión de 2.38 bar@, Anexo A.2)
- $h_{v10} = 528.437 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la presión de 2.38 bar@ en estado líquido, Anexo A.2)
- $h_{ag\ 2} = 200.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la temperatura de 48°C, Anexo A.2)
- $h_{ag\ 1} = 146.55 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinado a la temperatura de 35°C, Anexo A.2)

Reemplazando:

$$\dot{m}_{agz} = \frac{5.713 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (2714.62 - 528.437) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{(200.9 - 146.55) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m}_{agz} = 229.8 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

b) Flujo másico de aceite en el sistema de transmisión

Realizando balance energético en el sistema de transmisión del turbogenerador, tenemos:

$$\dot{m}_{aceite} * (h_{aceite\ 2} - h_{aceite\ 1}) = P_{p\acute{e}rdidas\ mec\acute{a}nicas}$$

$$\dot{m}_{aceite} = \frac{P_{eje} * (1 - \eta_m)}{h_{aceite\ 2} - h_{aceite\ 1}}$$

$$\dot{m}_{aceite} = \frac{(P_{GE})_{EW} * (1 - \eta_m)}{\eta_m * \eta_{GE} * (h_{aceite\ 2} - h_{aceite\ 1})}$$

Datos:

- $(P_{GE})_{EW} = 1600\text{KW}$

- $\eta_m = 0.97$

- $\eta_m = 0.985$

- $h_{aceite\ 2} = C_{p_{aceite\ 2}} * T_{aceite\ 2}$

Donde: $T_{aceite\ 2} = 48^\circ\text{C}$ y $C_{p_{aceite\ 2}} = 1.997 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$ (Anexo A.7)

$$\rightarrow h_{aceite\ 2} = 1.997 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 48^\circ\text{C} = 95.856 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- $h_{aceite\ 1} = C_{p_{aceite\ 1}} * T_{aceite\ 1}$

Donde: $T_{aceite\ 1} = 35^\circ\text{C}$ y $C_{p_{aceite\ 1}} = 1.943 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$ (Anexo A.7)

$$\rightarrow h_{aceite\ 1} = 1.943 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 35^\circ\text{C} = 68 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{aceite} = \frac{1600\text{KW} * (1 - 0.97)}{0.97 * 0.985 * (95.856 - 68) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m}_{aceite} = 1.804 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

c) Flujo másico de agua del enfriador

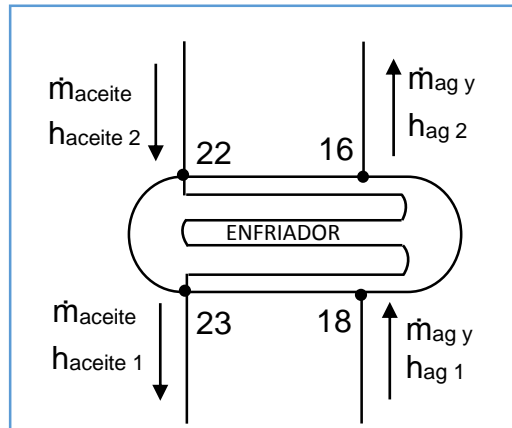


Figura 10. Enfriador de aceite del turbogenerador Escher Wyss. Fuente: El autor

Realizando balance energético al enfriador, tenemos:

$$\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} = \sum \dot{Q}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_{\text{aceite}} * (h_{\text{aceite } 2} - h_{\text{aceite } 1}) = \dot{m}_{\text{ag y}} * (h_{\text{ag } 2} - h_{\text{ag } 1})$$

$$\dot{m}_{\text{ag y}} = \frac{\dot{m}_{\text{aceite}} * (h_{\text{aceite } 2} - h_{\text{aceite } 1})}{h_{\text{ag } 2} - h_{\text{ag } 1}}$$

Datos:

- $\dot{m}_{\text{aceite}} = 1.804 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $h_{\text{aceite } 2} = 95.856 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{\text{aceite } 1} = 68 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{\text{ag } 2} = 200.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo A.2)
- $h_{\text{ag } 1} = 146.55 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo A.2)

Reemplazando:

$$\dot{m}_{ag y} = \frac{1.804 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (95.856 - 68) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{(200.9 - 146.55) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m}_{ag y} = 0.925 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

d) Flujo másico de agua de refrigeración de la torre de enfriamiento

$$\dot{m}_{ag x} = \dot{m}_{ag z} + \dot{m}_{ag y}$$

Datos:

- $\dot{m}_{ag z} = 229.8 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $\dot{m}_{ag y} = 0.925 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{ag x} = 229.8 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} + 0.925 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{ag x} = 230.725 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

e) Calor útil del condensador

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{C-EW} = \dot{m}_{v4}(h_{v9} - h_{v10})$$

Datos:

- $\dot{m}_{v4} = 5.713 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $h_{v9} = 2714.62 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $h_{v10} = 528.437 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{C-EW} = 5.713 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (2714.62 - 528.437) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{C-EW} = 12489.663 \text{ KW}$$

3.1.3.2. Balance de masa y energía en el Condensador industrial del turbogenerador Brown Boveri

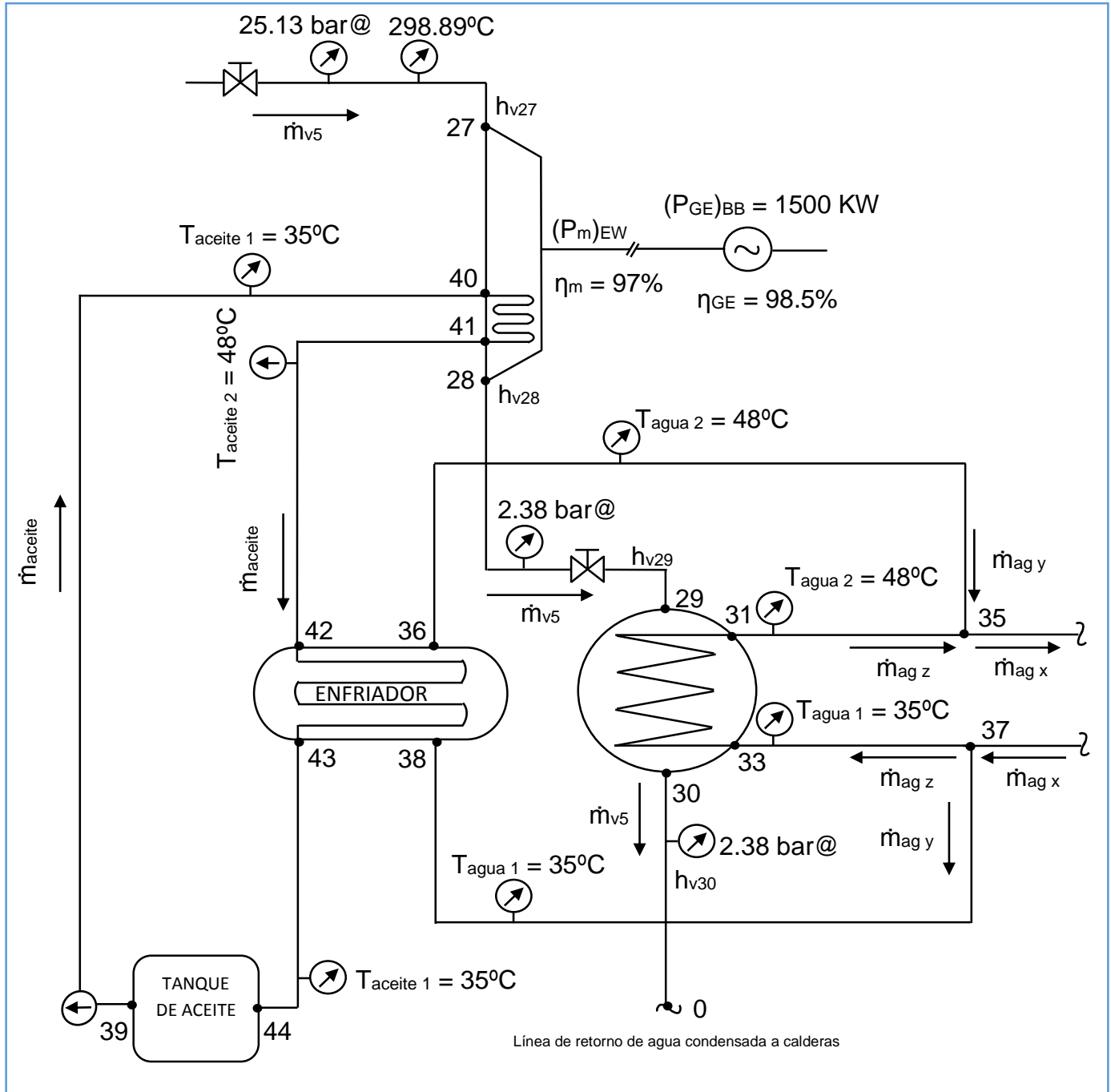


Figura 11. Sistema de refrigeración y condensación del turbogenerador Brown Boveri.
Fuente: El autor.

Tabla 05.

Parámetros de operación del condensador industrial del Turbogenerador Brown Boveri en estado actual.

Flujo másico de agua de condensación (\dot{m}_{agz})	Flujo másico de aceite en el sistema de transmisión (\dot{m}_{aceite})	Flujo másico de agua del enfriador (\dot{m}_{agy})	Flujo másico de agua de refrigeración de la torre de enfriamiento (\dot{m}_{agx})	Calor útil del condensador ($\dot{Q}_{\text{útil}}$)
$209.9 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	$1.691 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	$0.867 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	$210.767 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	11407.503 KW

Fuente: El autor

3.1.4. Balance de masa y energía en las torres de enfriamiento

3.1.4.1. Balance de masa y energía en la torre de enfriamiento del turbogenerador

Escher Wyss

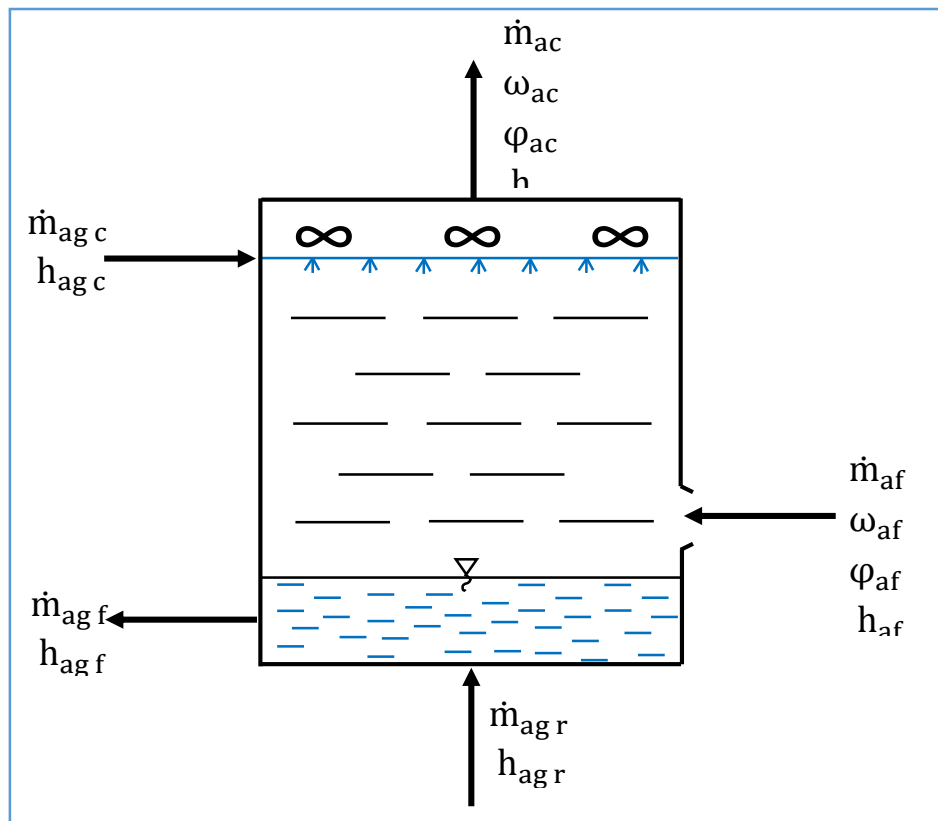


Figura 12. Torre de enfriamiento. Fuente: El autor.

a) Flujo másico de aire seco

Realizando balance energético a la torre de enfriamiento, tenemos:

$$\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} = \sum \dot{Q}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_{\text{ag r}} * h_{\text{ag r}} + \dot{m}_{\text{af}} * h_{\text{af}} + \dot{m}_{\text{ag c}} * h_{\text{ag c}} = \dot{m}_{\text{ac}} * h_{\text{ac}} + \dot{m}_{\text{ag f}} * h_{\text{ag f}}$$

Donde:

- $\dot{m}_{\text{ag r}} = \dot{m}_{\text{as}} * (\omega_{\text{ac}} - \omega_{\text{af}})$
- $\dot{m}_{\text{af}} = \dot{m}_{\text{as}} * (1 + \omega_{\text{af}})$
- $\dot{m}_{\text{ag c}} = \dot{m}_{\text{ag f}}$
- $\dot{m}_{\text{ac}} = \dot{m}_{\text{as}} * (1 + \omega_{\text{ac}})$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{\text{as}}(\omega_{\text{ac}} - \omega_{\text{af}}) * h_{\text{ag r}} + \dot{m}_{\text{as}}(1 + \omega_{\text{af}}) * h_{\text{af}} + \dot{m}_{\text{ag c}} * h_{\text{ag c}} = \dot{m}_{\text{as}} * (1 + \omega_{\text{ac}}) * h_{\text{ac}} + \dot{m}_{\text{ag c}} * h_{\text{ag f}}$$

$$\dot{m}_{\text{ag c}} * h_{\text{ag c}} - \dot{m}_{\text{ag c}} * h_{\text{ag f}} = \dot{m}_{\text{as}} * (1 + \omega_{\text{ac}}) * h_{\text{ac}} - \dot{m}_{\text{as}}(\omega_{\text{ac}} - \omega_{\text{af}}) * h_{\text{ag r}} - \dot{m}_{\text{as}}(1 + \omega_{\text{af}}) * h_{\text{af}}$$

$$\dot{m}_{\text{ag c}} * (h_{\text{ag c}} - h_{\text{ag f}}) = \dot{m}_{\text{as}}[(1 + \omega_{\text{ac}}) * h_{\text{ac}} - (\omega_{\text{ac}} - \omega_{\text{af}}) * h_{\text{ag r}} - (1 + \omega_{\text{af}}) * h_{\text{af}}]$$

$$\dot{m}_{\text{as}} = \frac{\dot{m}_{\text{ag c}} * (h_{\text{ag c}} - h_{\text{ag f}})}{(1 + \omega_{\text{ac}}) * h_{\text{ac}} - (\omega_{\text{ac}} - \omega_{\text{af}}) * h_{\text{ag r}} - (1 + \omega_{\text{af}}) * h_{\text{af}}}$$

Datos:

- $h_{\text{ag f}}$: Entalpía del agua caliente, $h_{\text{ag f}} = h_{\text{agua 1}} = 146.55 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo A.2)
- ω_{ac} : Calidad del aire caliente, se determina a la humedad relativa de 90% y a la temperatura de 45°C, del diagrama psicrométrico (Anexo A.8) se tiene:

$$\rightarrow \omega_{\text{ac}} = 30 \frac{\text{gr agua}}{\text{kg aire seco}} = 0.03 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

- ω_{af} : Calidad del aire frío, se determina a la humedad relativa de 80% (Anexo A.3) y a la temperatura de 32°C (Anexo A.3), del diagrama psicrométrico se tiene:

$$\rightarrow \omega_{af} = 24.5 \frac{\text{gr agua}}{\text{kg aire seco}} = 0.0245 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

- h_{ac} : Entalpía del aire caliente, $h_{ac} = 1.005 T_{ac} + \omega_{ac}(2501.7 + 1.82T_{ac})$

Donde: $T_{ac} = 45^\circ\text{C}$ y $\omega_{ac} = 0.03 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$

$$\rightarrow h_{ac} = 1.005 * 45^\circ\text{C} + 0.03 * (2501.7 + 1.82 * 45^\circ\text{C})$$

$$h_{ac} = 122.733 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- h_{af} : Entalpía del aire frío, $h_{af} = 1.005 T_{af} + \omega_{af}(2501.7 + 1.82T_{af})$

Donde: $T_{af} = 32^\circ\text{C}$ y $\omega_{af} = 0.0245 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$

$$\rightarrow h_{af} = 1.005 * 32^\circ\text{C} + 0.0245 * (2501.7 + 1.82 * 32^\circ\text{C})$$

$$h_{af} = 94.879 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- $h_{ag r}$: Entalpía del agua de reposición, $h_{ag r} = 64.45 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Determinada a la temperatura de 19°C Anexo A.2)

Reemplazando:

$$\dot{m}_{as} = \frac{230.725 (200.9 - 146.55)}{(1 + 0.03) * 122.733 - (0.03 - 0.0245) * 64.45 - (1 + 0.0245) * 94.879}$$

$$\dot{m}_{as} = 434.553 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{s}}$$

b) Flujo másico de agua de reposición

$$\dot{m}_{ag r} = \dot{m}_{as}(\omega_{ac} - \omega_{af})$$

Datos:

- $\dot{m}_{as} = 434.553 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{s}}$

- $\omega_{ac} = 0.03 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$

- $\omega_{af} = 0.0245 \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{ag\ r} = 434.553 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{s}} * (0.03 - 0.0245) \frac{\text{Kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

$$\dot{m}_{ag\ r} = 2.39 \frac{\text{Kg agua}}{\text{s}}$$

c) Flujo volumétrico de agua de reposición

$$\dot{V}_{ag\ r} = \frac{\dot{m}_{ag\ r}}{\rho_{ag\ r}}$$

Datos:

- $\dot{m}_{ag\ r} = 2.39 \frac{\text{Kg agua}}{\text{s}}$
- $\rho_{ag\ r} = 998.403 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ (Determinado a la temperatura de 19°C, Anexo A.2)

Reemplazando:

$$\dot{V}_{ag\ r} = \frac{2.39 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{998.403 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\dot{V}_{ag\ r} = 2.394 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 8.618 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

d) Calor útil de la torre de enfriamiento

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{\text{Torre-T.G.E.W}} = \dot{m}_{ag\ c} * (h_{ag\ c} - h_{ag\ f})$$

Datos:

- $\dot{m}_{ag\ c} = 230.725 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $h_{ag\ c} = 200.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo A.2)
- $h_{ag\ f} = 146.55 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo A.2)

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{\text{Torre-T.G.E.W}} = 230.725 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (200.9 - 146.55) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(\dot{Q}_{\text{útil}})_{\text{Torre-T.G.E.W}} = 12539.904 \text{ KW} = 3572.622 \text{ Ton} - \text{Torre}$$

3.1.4.2. Balance de masa y energía en la torre de enfriamiento del turbogenerador Brown Boveri

Tabla 06.

Parámetros de operación de la torre de enfriamiento del turbogenerador Brown Boveri en estado actual.

Flujo másico de aire seco (\dot{m}_{as})	Flujo másico de agua de reposición ($\dot{m}_{\text{ag r}}$)	Flujo volumétrico de agua de reposición ($\dot{V}_{\text{ag r}}$)	Calor útil de la torre de enfriamiento ($\dot{Q}_{\text{útil}}$)
396.964 $\frac{\text{Kg aire seco}}{\text{s}}$	2.183 $\frac{\text{Kg agua}}{\text{s}}$	7.895 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	11455.186 KW

Fuente: El autor

3.1.4.3. Rendimiento en estado actual de la planta termoeléctrica

$$\eta_{\text{CTE}} = \frac{P_{\text{GE}} + \dot{Q}_{\text{u}} + \dot{Q}_{\text{IC}}}{\dot{Q}_{\text{T}}}$$

Donde:

- $P_{\text{GE}} = 3100 \text{ KW}$
- $\dot{Q}_{\text{u}} = 0$
- $\dot{Q}_{\text{IC}} = 0.75 * \left(10.931 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right) * (528.473 - 134) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 3.495 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (95.856 - 68) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
 $\dot{Q}_{\text{IC}} = 3331.345 \text{ KW}$
- $\dot{Q}_{\text{T}} = 3.056 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (7420 + 111.648 + 6.412 * 32.201) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 2.847 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (7420 + 111.648 + 6.383 * 32.201) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$

$$\dot{Q}_T = 45675.468 \text{ KW}$$

Reemplazando:

$$\eta_{CTE} = \frac{3100 \text{ KW} + 3331.345 \text{ KW}}{45675.468 \text{ KW}}$$

$\eta_{CTE} = 14 \%$

3.2. Determinación de los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss y de las calderas acuotubulares para generar los 5 MW en los bornes del generador

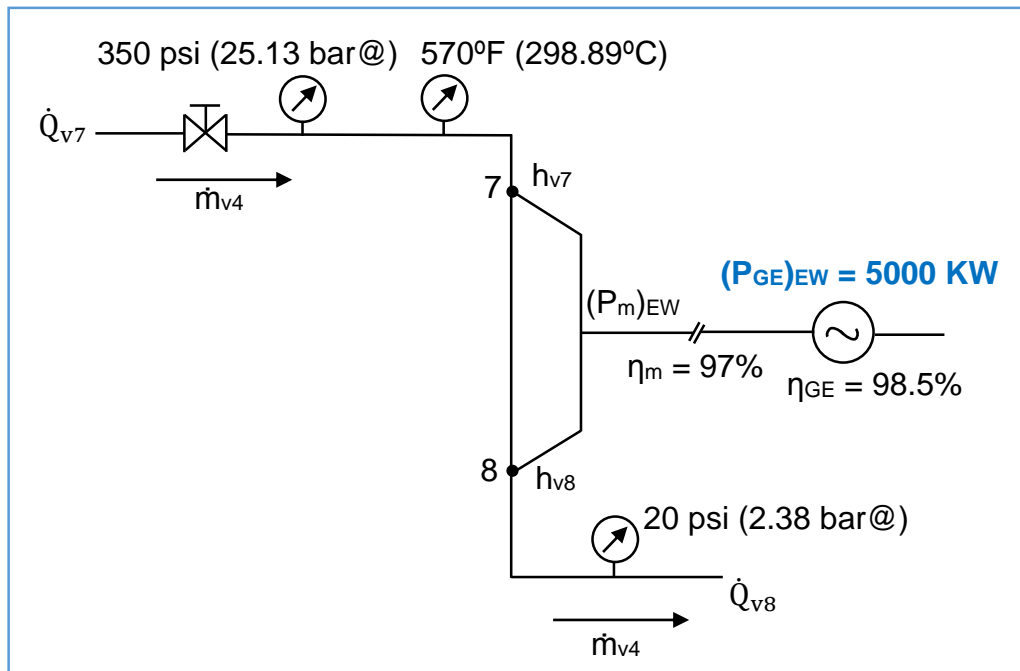


Figura 13. Turbogenerador Escher Wyss en mejora. Fuente: El autor

Tabla 07.

Parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Consumo de flujo másico de vapor sobrecalentado (\dot{m}_{v5})_{mejora}	Consumo específico de vapor (C_{ev})_{EW-mejora}	Incremento de vapor sobrecalentado ($\Delta \dot{m}_v$)
17.853 $\frac{Kg}{s}$	12.281 $\frac{Kg}{KWh}$	12.14 $\frac{Kg}{s}$

Fuente: El autor.

La empresa actualmente trabaja con dos calderas acuotubulares en paralelo para generar el flujo másico de vapor sobrecalentado necesario para sus dos turbogeneradores (Escher Wyss y Brown Boveri), ambas producen aproximadamente la misma cantidad de vapor, los parámetros de operación son los mismos, los rendimientos de cada una de ellas son

relativamente iguales y la capacidad nominal es la misma. Es por eso que se optó por dividir la cantidad de flujo másico de vapor sobrecalentado total entre ambas calderas para que se siga manteniendo el equilibrio entre ambas líneas de producción:

$$\Delta \dot{m}'_v = \frac{\Delta \dot{m}_v}{2} = \frac{12.14 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{2}$$

$$\Delta \dot{m}'_v = 6.07 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Los nuevos flujos de vapor sobrecalentado son:

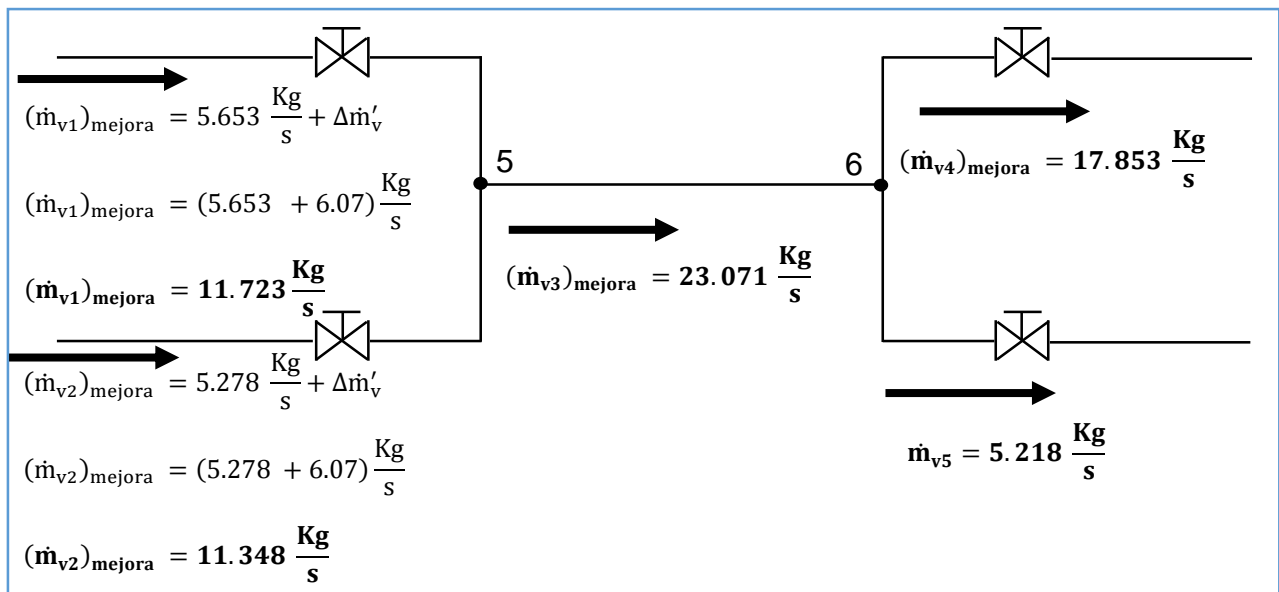


Figura 14. Distribución de tuberías de las calderas hacia los turbogeneradores. Fuente: El autor.

Tabla 08.

Parámetros de operación de la caldera acuotubular 01 en estado de mejora.

Consumo de combustible en mejora (\dot{m}_{cble})	Rendimiento energético ($\eta_{caldera}$)
$6.337 \frac{\text{Kg cble}}{\text{s}}$	64.5 %

Fuente: El autor.

Tabla 09.

Parámetros de operación de la caldera acuotubular 02 en estado de mejora.

Consumo de combustible en mejora (\dot{m}_{cble})	Rendimiento de la caldera (η_{caldera})
6.121 $\frac{\text{Kg cble}}{\text{s}}$	64.6 %

Fuente: El autor.

- Determinación del rendimiento de la planta termoelectrica en estado de mejora.

$$\eta_{\text{CTE}} = \frac{P_{\text{GE}} + \dot{Q}_{\text{u}} + \dot{Q}_{\text{IC}}}{\dot{Q}_{\text{T}}}$$

Donde:

- $P_{\text{GE}} = 6600 \text{ KW}$
- $\dot{Q}_{\text{u}} = 0$
- $\dot{Q}_{\text{IC}} = 23.071 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (528.473 - 134) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 7.327 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (95.856 - 68) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
 $\dot{Q}_{\text{IC}} = 9304.987 \text{ KW}$
- $\dot{Q}_{\text{T}} = 6.337 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (7420 + 111.648 + 6.412 * 32.201) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 6.121 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (7420 + 111.648 + 6.383 * 32.201) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$
 $\dot{Q}_{\text{T}} = 96395.794 \text{ KW}$

Reemplazando:

$$\eta_{\text{CTE}} = \frac{6600 \text{ KW} + 9304.987 \text{ KW}}{96395.794 \text{ KW}}$$

$\eta_{\text{CTE}} = 16.5 \%$

3.3. Determinación del flujo másico de agua de condensación para la torre de enfriamiento a implementar para el turbogenerador Escher Wyss y la capacidad del condensador y Torre de enfriamiento.

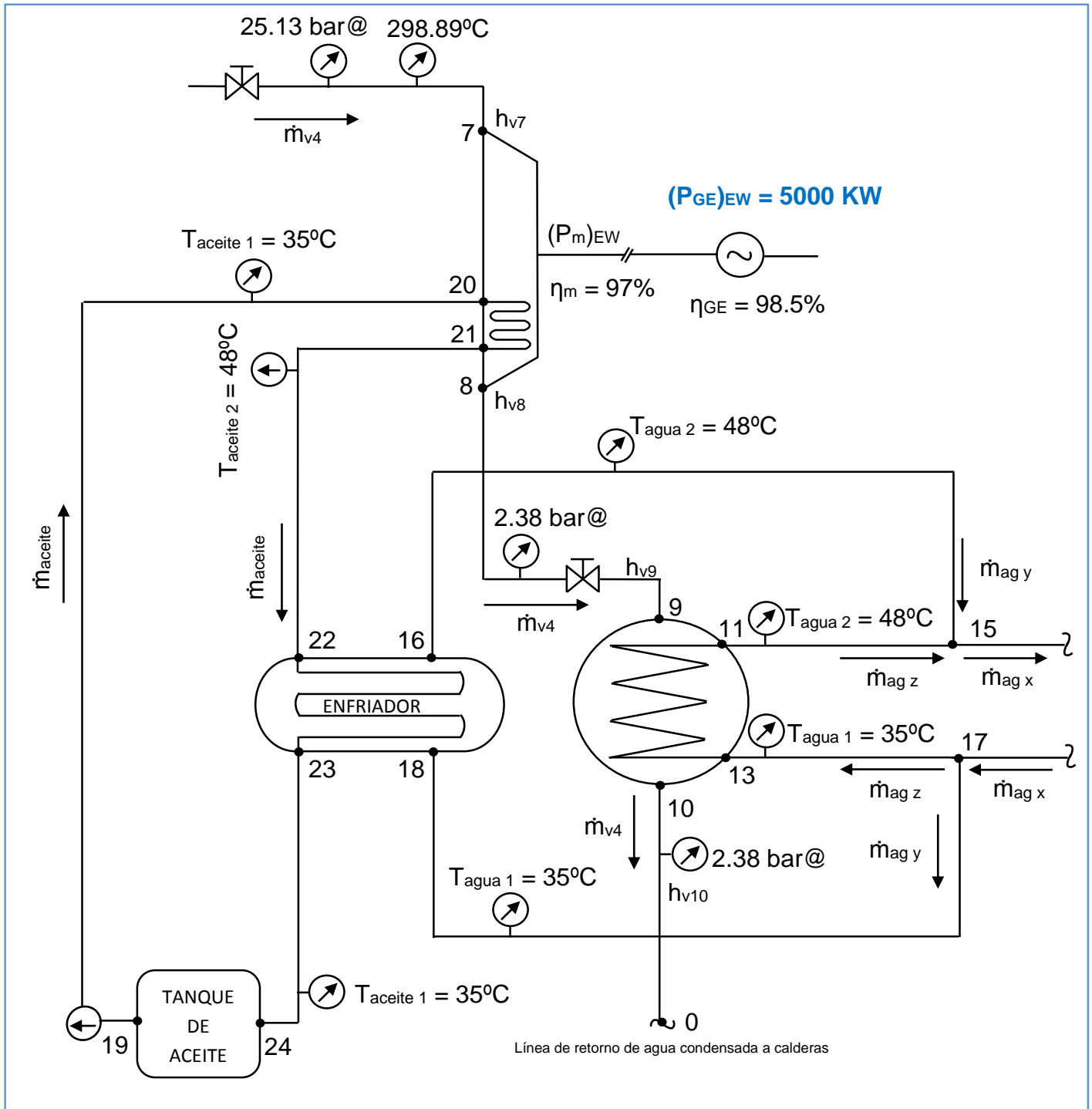


Figura 15. Sistema de refrigeración y condensación del turbogenerador Escher Wyss generando 5MW. Fuente: El autor.

Tabla 10.

Parámetros de operación del condensador industrial del Turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Flujo másico de agua de condensación ($\dot{m}_{ag\ z}$)	Flujo másico de aceite en el sistema de transmisión (\dot{m}_{aceite})	Flujo másico de agua del enfriador ($\dot{m}_{ag\ y}$)	Flujo másico de agua de refrigeración de la torre de enfriamiento ($\dot{m}_{ag\ x}$)	Calor útil del condensador ($\dot{Q}_{\text{útil}}$)
718.122 $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	5.636 $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	2.889 $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	721.011 $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$	33029.925 KW

Fuente: El autor.

Tabla 11.

Parámetros de operación de la torre de enfriamiento del turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Flujo másico de aire seco (\dot{m}_{as})	Flujo másico de agua de reposición ($\dot{m}_{ag\ r}$)	Flujo volumétrico de agua de reposición ($\dot{V}_{ag\ r}$)	Calor útil de la torre de enfriamiento ($\dot{Q}_{\text{útil}}$)
1357.971 $\frac{\text{Kg aire seco}}{\text{s}}$	7.469 $\frac{\text{Kg agua}}{\text{s}}$	26.931 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	39186.948 KW

Fuente: El autor.

3.4. Rediseño de distribución de vapor para los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss y calderas acuotubulares.

3.4.1. Rediseño de las tuberías de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado.

Tabla 12.

Propiedades termo-físicas del vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado.

Tramo	Presión (Bar @)	Temperatura (°C)	Fluido	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad dinámica (Pa.s)	Conductividad térmica (W/m°C)	Número de Prandtl
1-2	56.16	335	V. sobrecalentado	22.816	21.417 x 10 ⁻⁶	0.056342	1.10404
2-5	25.13	298.89	V. sobrecalentado	10.19	19.972 x 10 ⁻⁶	0.047762	1.01712
3-4	56.16	335	V. sobrecalentado	22.816	21.417 x 10 ⁻⁶	0.056342	1.10404
4-5	25.13	298.89	V. sobrecalentado	10.19	19.972 x 10 ⁻⁶	0.047762	1.01712
5-6	25.13	298.89	V. sobrecalentado	10.19	19.972 x 10 ⁻⁶	0.047762	1.01712
6-7	25.13	298.89	V. sobrecalentado	10.19	19.972 x 10 ⁻⁶	0.047762	1.01712
8-9	2.38	125.798	V. Saturado	1.329	13.156 x 10 ⁻⁶	0.02821	1.03145
10-0	2.38	125.798	L. Saturado	938.362	220.568 x 10 ⁻⁶	0.6836	1.37245

Fuente: El autor.

a) TRAMO 1-2

- Cálculo de la sección de la tubería

$$\dot{m}_v = \rho_v * \bar{U}_v * S$$

$$S = \frac{\dot{m}_v}{\rho_v * \bar{U}_v}$$

Datos:

- $\dot{m}_v = 11.723 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- $\rho_v = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Determinado a la presión de 56.16 bar@ y a la temperatura de 335 °C)
- $\bar{U}_v = 45.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Velocidad promedio de una línea de vapor sobrecalentado, Anexo A.9)

Reemplazando:

$$S = \frac{11.723 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 45.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$S = 0.011 \text{ m}^2$$

- Cálculo del diámetro interior de la tubería

$$d_{\text{int}} = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.011 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$d_{\text{int}} = 0.118 \text{ m} = 118 \text{ mm}$$

- Normalización de la tubería:

- Material de la tubería: ASTM A-192
- Temperatura del material: 650 °C (650 °C > 335 °C, Anexo A.10)
- Número de cédula:

$$SCH = 1000 * \frac{\sigma_t}{\sigma_{\max.}} * f.s$$

Datos:

- σ_t : Esfuerzo de trabajo, $\sigma_t = 56.16 \text{ bar@}$
- $\sigma_{\max.}$: Esfuerzo admisible del material, $\sigma_{\max.} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1800 \text{ bar@}$ (Anexo A.11)
- f.s :Factor de servicio, $f.s = 1.75$

Reemplazando:

$$SCH = 1000 * \frac{56.16 \text{ bar@}}{1800 \text{ bar@}} * 1.75$$

$SCH = 54.60 \approx 80$

- Justificación de la selección del número de cedula

$$VIDA = \frac{e}{C}$$

Datos:

- e: Espesor de la tubería al número de cedula seleccionado, $e = 9.35 \text{ mm}$ (Determinado a $SCH = 80$, Anexo A.12)
- C: Velocidad de corrosión del acero, $C = 0.127 \frac{\text{mm}}{\text{año}}$

Reemplazando:

$$VIDA = \frac{9.35 \text{ mm}}{0.127 \frac{\text{mm}}{\text{año}}}$$

$VIDA = 73.62 \text{ años}$

La vida nominal aproximada para una tubería de vapor es 50 años

- Dimensiones de la tubería de vapor sobrecalentado (Anexo A.12)

$$\begin{array}{l} \text{NPS} = 5'' \\ \text{SCH} = 80 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} d_{\text{ext}} = 141.3 \text{ mm} \\ e = 9.35 \text{ mm} \\ d_{\text{int}} = 122.6 \text{ mm} \end{array} \right.$$

- Verificación de la velocidad del vapor de la tubería:

$$U_v = \frac{\dot{m}_v}{\rho_v * \frac{\pi * d_{\text{int}}^2}{4}}$$

Datos:

- $\dot{m}_v = 11.723 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- $\rho_v = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $d_{\text{int.}} = 0.1226 \text{ m}$

Reemplazando:

$$U_v = \frac{11.723 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi * (0.1226\text{m})^2}{4}}$$

$$U_v = 43.524 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tabla 13.

Tuberías de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado rediseñadas.

Tramo	Fluido	Longitud (m)	Material	NPS (pulg.)	SCH	Diámetro interior (m)	Diámetro exterior (m)	Esfuerzo admisible (bar)	Tiempo de vida (años)	Velocidad real del fluido (m/s)
1-2	Vapor sobrecalentado	9	ASTM - A192	5	80	0.1226	0.1413	1800	73.62	43.524
2-5	Vapor sobrecalentado	26	ASTM - A192	8	30	0.20502	0.2191	1800	55.43	34.848
3-4	Vapor sobrecalentado	7	ASTM - A192	5	80	0.1226	0.1413	1800	73.62	42.132
4-5	Vapor sobrecalentado	22	ASTM - A192	8	30	0.20502	0.2191	1800	55.43	33.734
5-6	Vapor sobrecalentado	2.8	ASTM - A192	10	30	0.2575	0.2731	1800	61.42	43.476
6-7	Vapor sobrecalentado	17.5	ASTM - A192	10	30	0.2575	0.2731	1800	61.42	33.643
8-9	Vapor Saturado	12	ASTM - A 53	30	40	0.74294	0.762	824	75	30.99
10-0	Líquido Saturado	94	ASTM - A 53	6	40	0.1556	0.1683	824	50	1

Fuente: El autor.

3.4.2. Aislamiento térmico industrial de las tuberías de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado.

a) Tramo 1-2

- Tubería de vapor sin aislante

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{U_v * d_{int}}{\nu_v} = \frac{U_v * d_{int} * \rho_v}{\mu_v}$$

Datos:

- $U_v = 43.524 \frac{m}{s}$
- $d_{int} = 0.1226m$
- $\rho_v = 22.816 \frac{Kg}{m^3}$
- μ_v : Viscosidad dinámica del vapor, $\mu_v = 21.417 * 10^{-6} Pa \cdot s$

Reemplazando:

$$Re = \frac{43.524 \frac{m}{s} * 0.1226m * 22.816 \frac{Kg}{m^3}}{21.417 * 10^{-6} Pa \cdot s}$$

$$Re = 5684603.044 = 5.7 * 10^6$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4}$$

Datos:

- $Re = 5684603.044$
- Pr : Número de Prandtl, $Pr = 1.10404$

Reemplazando:

$$Nu = 0.023 * 5684603.044^{0.8} * 1.10404^{0.4}$$

$$Nu = 6062.921$$

Coefficiente de convección interior:

$$h_{int} = \frac{Nu * k_v}{d_{int}}$$

Datos:

- $Nu = 6062.921$
- k_v : Conductividad térmica del vapor, $k_v = 0.056342 \frac{W}{m^\circ C}$
- $d_{int} = 0.1226 \text{ m}$

Reemplazando:

$$h_{int} = \frac{6062.921 * 0.056342 \frac{W}{m^\circ C}}{0.1226 \text{ m}}$$

$$h_{int} = 2786.273 \frac{W}{m^2^\circ C}$$

Coefficiente de convección exterior:

$$h_{ext} = 11.6 + 6.96 * \sqrt{U_{aire}}$$

Dato:

- $U_{aire} = 28 \frac{Km}{h} = 7.778 \frac{m}{s}$ (Anexo A.3)

Reemplazando:

$$h_{ext} = 11.6 + 6.96 * \sqrt{7.778 \frac{m}{s}}$$

$$h_{ext} = 31.012 \frac{W}{m^2^\circ C}$$

Calor perdido sin aislante por unidad de longitud:

$$\dot{q}_{p, sin \text{ aisl.}} = \frac{T_v - T_o}{\frac{1}{2\pi} * \left[\frac{1}{r_{int} * h_{int}} + \frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{k_t} + \frac{1}{r_{ext} * h_{ext}} \right]}$$

Datos:

- $T_v = 335^\circ C$
- $T_o = 32^\circ C$ (Anexo A.3)
- $d_{int} = 0.1226 \text{ m} \rightarrow r_{int} = 0.0613 \text{ m}$

- $h_{\text{int}} = 2786.273 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$
- $d_{\text{ext}} = 0.1413 \text{ m} \rightarrow r_{\text{ext}} = 0.07065 \text{ m}$
- $k_t = 43.731 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$ (Coeficiente de conductividad térmica de la tubería, determinado a la temperatura de 608.15 °K, Anexo A.13)
- $h_{\text{ext}} = 31.012 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$

Reemplazando:

$$\dot{q}_{p,\text{sin}}^{\text{aisl.}} = \frac{335^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}}{\frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{0.0613\text{m} * 2786.273 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}} + \frac{\ln\left(\frac{0.1413 \text{ m}}{0.1226 \text{ m}}\right)}{43.731 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} + \frac{1}{0.07065 \text{ m} * 31.012 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}} \right]}$$

$$\dot{q}_{p,\text{sin}}^{\text{aisl.}} = 4089.683 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

- Tubería de vapor con aislante

Temperatura interior del aislante (T_{p2}):

$$\dot{q}_{p,\text{sin}}^{\text{aisl.}} = \frac{T_v - T_{p2}}{\frac{1}{2\pi} * \left[\frac{1}{r_{\text{int}} * h_{\text{int}}} + \frac{\ln\left(\frac{d_{\text{ext}}}{d_{\text{int}}}\right)}{k_t} \right]}$$

$$T_{p2} = T_v - \dot{q}_{p,\text{sin}}^{\text{aisl.}} * \frac{1}{2\pi} * \left[\frac{1}{r_{\text{int.}} * h_{\text{int}}} + \frac{\ln\left(\frac{d_{\text{ext}}}{d_{\text{int}}}\right)}{k_t} \right]$$

Datos:

- $T_v = 335^{\circ}\text{C}$
- $\dot{q}_{p,\text{sin}}^{\text{aisl.}} = 4089.683 \frac{\text{W}}{\text{m}}$
- $d_{\text{int}} = 0.1226 \text{ m} \rightarrow r_{\text{int}} = 0.0613\text{m}$
- $h_{\text{int}} = 2786.273 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$
- $d_{\text{ext}} = 0.1413 \text{ m} \rightarrow r_{\text{ext}} = 0.07065 \text{ m}$
- $k_t = 43.731 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$

Reemplazando:

$$T_{p2} = 335^{\circ}\text{C} - 4089.683 \frac{\text{W}}{\text{m}} * \frac{1}{2\pi} * \left[\frac{1}{0.0613\text{m} * 2786.273 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{\ln\left(\frac{0.1413 \text{ m}}{0.1226 \text{ m}}\right)}{43.731 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \right]$$

$$T_{p2} = 329.076^{\circ}\text{C}$$

Calor perdido con aislante por unidad de longitud:

$$\dot{q}_{p,\text{con}}_{\text{aisl.}} = (1 - \eta_{\text{aisl.}}) * \dot{q}_{p,\text{sin}}_{\text{aisl.}}$$

Datos:

- $\eta_{\text{LANA MINERAL DE ROCA}} = 0.90$ (Determinado a la temperatura de 32°C , Anexo A.14)
- $\dot{q}_{p,\text{sin}}_{\text{aisl.}} = 4089.683 \frac{\text{W}}{\text{m}}$

Reemplazando:

$$\dot{q}_{p,\text{con}}_{\text{aisl.}} = (1 - 0.90) * 4089.683 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{p,\text{con}}_{\text{aisl.}} = 408.968 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Conductividad térmica del aislante de fibra de vidrio:

$$k_a = 0.04176 + 0.000232 * T_m$$

Datos:

- T_m : Temperatura media del aislante, $T_m = \frac{T_{p2} + T_{p3}}{2}$

Donde: $T_{p2} = 329.076^{\circ}\text{C}$ y $T_{p3} = 32^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow T_m = \frac{329.076^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{C}}{2} = 180.538^{\circ}\text{C}$$

Reemplazando:

$$k_a = 0.04176 + 0.000232 * 180.538^{\circ}\text{C}$$

$$k_a = 0.08365 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$$

Diámetro exterior del aislante:

$$\dot{q}_{p,con\,aisl.} = \frac{T_{p2} - T_{p3}}{\frac{1}{2\pi} * \left[\frac{\ln\left(\frac{d_{ext,a}}{d_{int,a}}\right)}{k_a} \right]}$$

$$d_{ext,a} = d_{int,a} * e^{\frac{2\pi * k_a * (T_{p2} - T_{p3})}{\dot{q}_{p,con\,aisl.}}}$$

Datos:

- $d_{int,a}$: Diámetro interior del aislante, $d_{int,a} = 0.1413\text{m}$
- $k_a = 0.08365 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$
- $T_{p2} = 329.076^\circ\text{C}$
- $T_{p3} = 32^\circ\text{C}$
- $\dot{q}_{p,con\,aisl.} = 408.968 \frac{\text{W}}{\text{m}}$

Reemplazando:

$$d_{ext,a} = 0.1413\text{m} * e^{\frac{2\pi * 0.08365 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * (329.076^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C})}{408.968 \frac{\text{W}}{\text{m}}}}$$

$$d_{ext,a} = 0.207 \text{ m}$$

Espesor del aislante:

$$\delta_a = \frac{d_{ext,a} - d_{int,a}}{2}$$

Datos:

- $d_{ext,a} = 0.207 \text{ m}$
- $d_{int,a} = 0.1413\text{m}$

Reemplazando:

$$\delta_a = \frac{0.207 \text{ m} - 0.1413 \text{ m}}{2}$$

$$\delta_a = 0.033 \text{ m} \approx 33 \text{ mm}$$

Superficie unitaria de un fardo:

$$S_f = L * A$$

Datos:

- $L = 1.2 \text{ m}$ (Anexo A.15)
- $A = 0.6 \text{ m}$ (Anexo A.15)

Reemplazando:

$$S_f = 1.2 \text{ m} * 0.6 \text{ m}$$

$$S_f = 0.72 \text{ m}^2$$

Superficie exterior de la tubería:

$$S_t = \pi * d_{\text{ext}} * L$$

Datos:

- $d_{\text{ext}} = 0.1413 \text{ m}$
- $L = 9 \text{ m}$

Reemplazando:

$$S_t = \pi * 0.1413 \text{ m} * 9 \text{ m}$$

$$S_t = 4 \text{ m}^2$$

Número de fardos:

$$N_f = \frac{S_t}{S_f} * \frac{\delta_a}{\delta_f}$$

Datos:

- $S_t = 4 \text{ m}^2$
- $S_f = 0.72 \text{ m}^2$
- $\delta_a = 33 \text{ mm}$
- $\delta_f = 30 \frac{\text{mm}}{\text{fardo}}$ (Anexo A.15)

Reemplazando:

$$N_f = \frac{4 \text{ m}^2}{0.72 \text{ m}^2} * \frac{33 \text{ mm}}{30 \frac{\text{mm}}{\text{fardo}}}$$

$N_f = 6.11 \text{ fardos}$

Tramo	Aislam.	Reynolds	Nusselt	h_{int} (W/m ² °C)	h_{ext} (W/m ² °C)	T_{p2} (°C)	$Q_{p-sin\ aisl.}$ (W/m)	$Q_{p-con\ aisl.}$ (W/m)	$D_{ext-aisl.}$ (m)	$\delta_{aisl.}$ (mm)	Dimens. del aisl. (m)	δ_{fardo} (mm)	N° fardos
1-2	Lana mineral de roca	5684603.044	6062.921	2786.273	31.012	329.076	4089.683	408.968	0.207	33	1.2 x 0.6	30	6.11
2-5	Lana mineral de roca	3645244.924	4112.047	957.953	31.012	288.716	5479.925	547.993	0.276	28	1.2 x 0.6	30	21.9
3-4	Lana mineral de roca	5502746.054	5907.293	2714.753	31.012	328.978	4088.329	408.833	0.207	33	1.2 x 0.6	30	4.75
4-5	Lana mineral de roca	3528715.917	4006.545	933.375	31.012	288.491	5475.127	547.513	0.276	28	1.2 x 0.6	30	19.63
5-6	Lana mineral de roca	5711884.804	5889.796	1092.46	31.012	289.699	6856.684	685.668	0.329	28	1.2 x 0.6	30	3.11
6-7	Lana mineral de roca	4420023.472	4797.515	889.871	31.012	288	6811.604	681.160	0.329	28	1.2 x 0.6	30	19.46

8-9	Lana mineral de roca	2325821.784	2889.889	109.731	31.012	104.382	5373.591	537.359	0.80	19	1.2 x 0.6	30	25.27
10-0	Lana mineral de roca	661968.768	1184.122	5202.222	31.012	124.818	1521.936	152.194	0.212	22	1.2 x 0.6	30	50.62

Tabla 14.

Aislamiento térmico de las tuberías de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado rediseñadas.

Fuente: El autor.

3.4.3. Análisis estructural

a) Tramo 1-2

- Dimensión del perfil estructural

Peso de la tubería:

$$W_t = \frac{\gamma_{\text{acero}} * V_{\text{tub}}}{g} * g = \gamma_{\text{acero}} * \frac{\pi * (d_{\text{ext.}}^2 - d_{\text{int.}}^2)}{4} * L$$

Datos:

- $\gamma_{\text{acero}} = 76500 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ (Anexo A.16)
- $d_{\text{ext.}} = 0.1413 \text{ m}$
- $d_{\text{int.}} = 0.1226 \text{ m}$
- $L = 9 \text{ m}$

Reemplazando:

$$W_t = 76500 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{\pi(0.1413^2 - 0.1226^2)\text{m}^2}{4} * 9 \text{ m}$$

$W_t = 2668.546 \text{ N}$

Peso del vapor:

$$W_v = \rho_v * V_v * g = \rho_{\text{vap.}} * \frac{\pi * d_{\text{int.}}^2}{4} * L * g$$

Datos:

- $\rho_v = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $d_{\text{int.}} = 0.1226 \text{ m}$
- $L = 9 \text{ m}$
- $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Reemplazando:

$$W_v = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi*(0.1226 \text{ m})^2}{4} * 9\text{m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_v = 23.779 \text{ N}$$

Peso total a soportar por las estructuras:

$$W_{se} = W_t + W_v$$

$$W_{se} = 2668.546 \text{ N} + 23.779 \text{ N}$$

$$W_{se} = 2692.325 \text{ N}$$

Carga critica total:

$$(P_{cr})_T = W_{se} * F.S.$$

$$(P_{cr})_T = 2692.325 \text{ N} * 3$$

$$(P_{cr})_T = 8076.975 \text{ N}$$

Carga critica por cada estructura:

$$P_{cr} = \frac{(P_{cr})_T}{N_e}$$

Donde:

$$\bullet N_e = \frac{L_{total}}{L_{estructura}} = \frac{9 \text{ m}}{6 \text{ m}} = 1.5 \approx 2 \text{ estructuras}$$

Reemplazando:

$$P_{cr} = \frac{8076.975 \text{ N}}{2}$$

$$P_{cr} = 4038.488 \text{ N}$$

Momento de inercia según el criterio de Euler:

$$I = \frac{P_{cr} * H^2}{E * \pi^2}$$

Datos:

$$\bullet P_{cr} = 4038.488 \text{ N}$$

- $H = 6 \text{ m}$
- $E_{\text{acero}} = 207 * 10^9 \text{ Pa}$ (Anexo A.17)

Reemplazando:

$$I = \frac{4038.488 \text{ N} * (6\text{m})^2}{207 * 10^9 * \pi^2}$$

$$I = 7.116 * 10^{-8} \text{ m}^4 = 7.116 \text{ cm}^4$$

Radio de giro del perfil estructural:

$$K = \frac{H}{100}$$

$$K = \frac{6 \text{ m}}{100}$$

$$K = \frac{6 \text{ m}}{100} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

Selección del perfil estructural W:

Para seleccionar el perfil estructural se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

$$I_{\text{ficha técnica}} > I_{\text{calculado}} \quad ; \quad K_{\text{ficha técnica}} < K_{\text{calculado}}$$

∴ Se seleccionó el perfil estructural W 310 x 32.9 (Anexo A.18)

Dimensiones del perfil

De tabla: $h = 366 \text{ mm}$, $b^f = 127 \text{ mm}$, $t^w = 5.8 \text{ mm}$, $t^f = 8.5 \text{ mm}$, $d = 349 \text{ mm}$

- Dimensiones de las placas base

- Material: ASTM- A36

Fuerza cortante sobre la placa

$$V_{PL} = P_{cr} + m_e * L * g$$

Datos:

- $P_{cr} = 4038.488 \text{ N}$

- $m_e = 32.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, masa lineal de la estructura
- $L = 6 \text{ m}$
- $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Reemplazando:

$$V = 4038.488 \text{ N} * 32.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 6 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$V_{PL} = 5974.982 \text{ N}$$

Área mínima de la placa

$$A_{\min} = 0.227 * e_{PL}$$

Esfuerzo cortante de trabajo

$$\tau_{\text{calculado}} = \frac{V_{PL}}{A_{\min}}$$

Datos:

- $V_{PL} = 5974.982 \text{ N}$
- $A_{\min} = 0.227 * e_{PL}$

Reemplazando:

$$\tau_{\text{calculado}} = \frac{5974.982}{0.227 * e_{PL}}$$

Criterio de falla por la teoría del esfuerzo cortante máximo

$$n = \frac{\tau_{\max.}}{\tau_{\text{calculado}}}$$

Donde:

- $\tau_{\text{calculado}} = \frac{5974.982}{0.227 * e_{PL}}$
- $\tau_{\max.} = 0.5 * S_y = 0.5(248.211 \text{ Mpa}) = 124.106 \text{ Mpa}$
- F.S.= 3

Reemplazando:

$$3 = \frac{124.106 * 10^6}{\frac{5974.982}{0.227 * e_{PL}}}$$

$$\rightarrow e_{PL} = 6.363 * 10^{-4} \text{ m} = 0.6363 \text{ mm}$$

Normalizando:

$$e_{PL} = \frac{1}{8} \text{ pulg.} = 3.175 \text{ mm}$$

- Dimensionamiento y selección de los pernos

Fuerza cortante por cada perno

$$V_p = \frac{V_{PL}}{N_{\text{pernos}}}$$

$$V_p = \frac{5974.982 \text{ N}}{4} = 1493.746 \text{ N}$$

Área sometida al esfuerzo cortante.

$$A_p = \pi * d_p * e_p.$$

$$A_p = \pi * d_p * 3.175 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_p = 9.975 * 10^{-3} \text{ m} * d_p$$

Esfuerzo cortante por cada perno.

$$\tau_p = \frac{V_p}{A_p}$$

$$\tau_p = \frac{1493.746 \text{ N}}{9.975 * 10^{-3} \text{ m} * d_p}$$

Selección del perno (Anexo A.19)

- Tipo de perno: N° 1 SAE
- Resistencia a la fluencia: $S_y = 248.211 \text{ MPa}$

Teoría de falla por el esfuerzo cortante máximo.

$$n = \frac{\tau_{\text{max.}}}{\tau_{\text{pern.}}}$$

Donde:

- $\tau_{\max} = 0.5 * S_y = 0.5(248.211 \text{ Mpa}) = 124.106 \text{ Mpa}$
- $\tau_p = \frac{1493.746 \text{ N}}{9.975 * 10^{-3} \text{ m} * d_p}$
- F.S.= 3

Reemplazando:

$$3 = \frac{124.106 * 10^6}{\frac{1493.746 \text{ N}}{9.975 * 10^{-3} \text{ m} * d_p}}$$
$$\rightarrow d_p = 3.62 * 10^{-3} \text{ m} = 3.62 \text{ mm}$$

Normalizando:

$$d_p = \frac{1}{4} \text{ pulg.} = 6.35 \text{ mm}$$

∴ Se seleccionó un perno hexagonal M8 – N°1 SAE (Anexo A.19)

- Dimensionamiento de los cimientos

Peso total que soportaran los cimientos.

$$W_{SC} = V_{PL} + 2 * \gamma_{\text{acero}} * (L_{PL} * a_{PL} * e_{PL})$$

Datos:

- $V_{PL} = 5974.982 \text{ N}$
- $\gamma_{\text{acero}} = 76500 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ (Anexo A.16)
- $L_{PL} = 0.466 \text{ m}$
- $a_{PL} = 0.227 \text{ m}$
- $e_{PL} = 3.175 \times 10^{-3} \text{ m}$

Reemplazando:

$$W_{SC} = 5974.982 \text{ N} + 2 * 76500 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * (0.466 \text{ m} * 0.227 \text{ m} * 3.175 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$W_{SC} = 6026.368 \text{ N}$$

Base mínima del cimiento

$$b_{\min.} = \sqrt{\frac{W_{SC}}{(\sigma_{\text{adm.}})_{\text{terr.}} - \gamma_{\text{terr.}} * h}}$$

Datos:

- $W_{SC} = 6026.368 \text{ N}$
- $\gamma_{\text{terr.}} = 23347.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$, peso específico del terreno. (anexo A.20)
- $(\sigma_{\text{adm.}})_{\text{terr.}} = 380 \text{ KPa}$, esfuerzo admisible del terreno. (Anexo A.21)

Reemplazando:

$$b_{\min} = \sqrt{\frac{6026.368 \text{ N}}{380000 \text{ Pa} - 23347.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{b_{\min}}{2}}}$$

$b_{\min} = 126 \text{ mm}$

Tabla 15.

Perfiles estructurales de las tuberías de vapor sobrecalentado y vapor saturado.

Tramo	Carga (N)	Altura (m)	Perfil	Dimensiones del perfil (mm)					Cantidad
				b	h	e _{alma}	e _{ala}	d	
1-2	4038.488	6	W310 x 32.9	127	349	5.8	8.5	366	2
2-5	7060.794	6	W360 x 51	171	355	7.2	11.6	378.2	4
3-4	6282.099	6	W360 x 44	171	352	6.9	9.8	371.6	1
4-5	5974.518	6	W360 x 44	171	352	6.9	9.8	371.6	4
5-6	4221.294	6	W360 x 32.9	127	349	5.8	8.5	366	1
6-7	8794.35	6	W410 x 46.1	140	403	7	11.2	425.4	3
8-9	20748.974	4	W410 x 53	177	403	7.5	10.9	424.8	3

Fuente: El autor

Tabla 16.

Placas base soldadas a los perfiles estructurales

Tramo	Carga (N)	Material	Dimensiones (mm)	Espesor (pulg.)	Cantidad
1-2	5974.982	ASTM A - 36	0,227 x 0,466	1/8	4
2-5	10062.654	ASTM A - 36	0,271 x 0,4782	1/8	8
3-4	8871.939	ASTM A - 36	0,271 x 0,4716	1/8	2
4-5	8564.358	ASTM A - 36	0,271 x 0,4716	1/8	8
5-6	6157.788	ASTM A - 36	0,227 x 0,466	1/8	2
6-7	11507.796	ASTM A - 36	0,240 x 0,5254	1/8	6
8-9	22828.694	ASTM A - 36	0,277 x 0,5248	1/8	6

Fuente: El autor

Tabla 17.

Pernos de sujeción de las estructuras

Tramo	Carga (N)	TIPO	Diámetro (pulg.)	Cantidad
1-2	1493.746	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M8	1/4	8
2-5	2515.664	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M8	1/4	16
3-4	2217.985	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M8	1/4	4
4-5	2141.09	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M8	1/4	16
5-6	1539.447	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M8	1/4	4
6-7	2876.949	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M10	5/16	12
8-9	5707.174	Nº 1 SAE - HEXAGONAL M16	5/8	12

Fuente: El autor

Tabla 18.

Cimientos que soportaran la carga total

Tramo	Carga (N)	B_{mín} (m)	Dimensiones	Cantidad
1-2	6026.368	0.126	0,227 x 0,466 x 0,126	2
2-5	10124.953	0.164	0,271 x 0,4782 x 0,164	4
3-4	8934.023	0.154	0,271 x 0,4716 x 0,154	1
4-5	8626.442	0.151	0,271 x 0,4716 x 0,151	4
5-6	6260.561	0.129	0,227 x 0,466 x 0,129	1
6-7	11569.05	0.180	0,240 x 0,5254 x 0,180	3
8-9	5777.791	0.124	0,277 x 0,5248 x 0,124	3
10-0	39686.571	0.325	0.325 x 0.325 x 0.325	14

Fuente: El autor

3.4.4. Dimensionamiento y selección de válvulas compuerta

a) Tramo 1-2

- Caída de presión permitida en la tubería

$$\Delta P_{\text{perm.}} = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{aire}}} * \Delta \rho_{\text{aire}}$$

Datos:

- $\Delta \rho_{\text{aire}} = 0.1 \text{ bar}$
- $\rho_{\text{fluido}} = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{fluido}} = 1.159 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Reemplazando:

$$\Delta P_{\text{perm.}} = \frac{22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.159 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * 0.1 \text{ bar}$$

$\Delta P_{\text{perm.}} = 1.968 \text{ bar}$

- Caída de presión calculada

$$\Delta P_{\text{calc.}} = \frac{f * \rho_{\text{fluido}} * U_{\text{fluido}}^2 * L}{2 * d_{\text{int}} * 10^5}$$

Datos:

- $f = 0.016$ (Determinado a $Re = 5.7 \times 10^6$ y a $e = 0.004$)
- $\rho_{\text{fluido}} = 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $U_{\text{fluido}} = 43.524 \text{ m/s}$
- $L = 9 \text{ m}$
- $d_{\text{int}} = 0.1226 \text{ m}$

Reemplazando:

$$\Delta P_{\text{calc.}} = \frac{0.016 * 22.816 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (43.524 \text{ m/s})^2 * 9 \text{ m}}{2 * 0.1226 \text{ m} * 10^5}$$

$$\Delta P_{\text{calc.}} = 0.254 \text{ bar}$$

Se cumple que:

$$\Delta P_{\text{perm.}} \geq \Delta P_{\text{calc.}}$$

$$1.968 \text{ bar} \geq 0.254 \text{ bar}$$

- Coeficiente de válvula

$$K_v = \frac{\dot{m}_v}{461} * \sqrt{\frac{T_v + 273.15}{\Delta P * P_2}}$$

Datos:

- $\dot{m}_v = 42202.8 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$
- $T_v = 335 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta P = 0.254 \text{ bar}$
- $P_2 = 55.906$

Reemplazando:

$$K_v = \frac{42202.8}{461} * \sqrt{\frac{335 + 273.15}{0.254 * 55.906}}$$

$$K_v = 599.1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

∴ Seleccionamos una válvula compuerta de DN = 80 mm y $K_v = 600 \text{ m}^3/\text{h}$ (Anexo A.22)

Tabla 19.

Válvulas compuerta seleccionadas para las tuberías (Anexo A.22).

Tramo	$\Delta P_{perm.}$ (Bar)	$\Delta P_{calc.}$ (Bar)	K_v calculado (m ³ /h)	K_v normalizado (m ³ /h)	DN (mm)
1-2	1.968	0.254	599.1	600	80
2-5	0.879	0.11	1319.816	1800	125
3-4	1.968	0.185	679.115	1000	100
4-5	0.879	0.087	1435.923	1800	125
5-6	0.879	0.015	7020.515	10000	250
6-7	0.879	0.055	2839.38	2900	150
10-0	80.96	0.04	331.74	390	65

Fuente: El autor

3.4.5. Cálculo de juntas de expansión

a) Tramo 1-2

- Determinación de la dilatación lineal de la tubería

$$\Delta l = L_0 * \alpha_{acero} * (T_{fluido} - T_{\alpha})$$

Datos:

- $L_0 = 9m$
- $\alpha_{acero} = 1.2 * 10^5 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (Anexo A.20)
- $T_{fluido} = 335^\circ\text{C}$
- $T_{\alpha} = 32^\circ\text{C}$

Reemplazando:

$$\Delta l = 9m * 1.2 * 10^5 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * (335 - 32)^\circ\text{C}$$

$$\Delta l = 0.033m = 33 \text{ mm}$$

- Número de juntas

$$N_j = \frac{\Delta l}{\Delta l_{nominal}}$$

Datos:

- $\Delta l = 33 \text{ mm}$
- $\Delta l_{\text{nominal}} = 255 \text{ mm}$

Reemplazando:

$$N_j = \frac{33 \text{ mm}}{255 \text{ mm}}$$

$$N_j = 0.13 \approx 1$$

Tabla 20.

Juntas de expansión (Anexo A.23).

Tramo	Dilatación lineal (mm)	Dilatación lineal nominal (mm)	DIAMETRO NOMINAL	Nº JUNTAS
1-2	33	255	5	1
2-5	83	240	8	1
3-4	25	255	5	1
4-5	70	240	8	1
5-6	9	240	10	1
6-7	56	240	10	1
8-9	14	260	30	1
10-0	106	265	6	1

Fuente: El autor

3.4.6. Análisis de soldadura de acuerdo a la norma ASTM

3.4.6.1. Análisis de soldadura a las tuberías y accesorios

- Presión del aire ejercido en las tuberías (Anexo A.24)

Donde:

- Altura máxima expuesta de la tubería = 6m

$$P_{\text{viento}} = 0.75 \text{ Kpa}$$

- Fuerza ejercida por el viento en todo el largo de la tubería.

$$F_v = P_{\text{viento}} * f_f * A_L$$

Datos:

- f_f : Factor de forma, $f_f = 0.6$ (Anexo A.25)
- A_L : Área lateral de la tubería:

$$A_L = \sum A_{L_i} ; A_{L_i} = \pi * d_{\text{ext.}} * L_{\text{tub.}}$$

$$A_L = \pi(0.1413\text{m} * 9\text{m} + 0.2191\text{m} * 26\text{m} + 0.1413\text{m} * 7\text{m} + 0.2191\text{m} * 22\text{m} + 0.2731\text{m} * 2.8\text{m} + 0.2731\text{m} * 17.5\text{m} + 0.762\text{m} * 12\text{m} + 0.1683\text{m} * 94\text{m})$$
$$\rightarrow A_L = 135.986\text{m}^2$$

Reemplazando:

$$F_v = 0.75\text{KPa} * 0.6 * 135.986\text{m}^2$$

$$F_v = 61.194\text{KN}$$

-Máxima área de la soldadura

$$A_S = 1.414\pi * h * r$$

Datos:

- h : Garganta de la soldadura, $h = 4.8\text{ mm} \left(\frac{3}{16}\text{ pulg}\right)$, Se determinó con el espesor máximo de tubería (Anexo A.26).
- $\overline{r_{\text{ext}}} = 0.137\text{ m}$

Reemplazando:

$$A_S = 1.414\pi * 4.8 \times 10^{-3}\text{m} * 0.137\text{ m}$$

$$A_S = 2.921 \times 10^{-3}\text{m}^2$$

- Fuerza cortante en el área de la soldadura.

$$V_s = \frac{F_v}{N_p}$$

Datos:

- $F_v = 61.194 \text{ KN}$
- N_p : Numero de perfiles:

$$N_p = \sum N_{p \text{ tub.}} + N_{p \text{ accesorios}}$$

$$N_p = 28 + 55 = 83$$

Reemplazando:

$$V_s = \frac{61194 \text{ N}}{83}$$

$$V_s = 737.277 \text{ N}$$

- Esfuerzo cortante en la soldadura de trabajo.

$$\tau_s = \frac{V_{CAS}}{A_s}$$

Datos:

- $V_s = 737.277 \text{ N}$
- $A_s = 2.921 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Reemplazando:

$$\tau_s = \frac{737.277 \text{ N}}{2.921 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\tau_s = 252405.683 \text{ Pa}$$

- Esfuerzo flexionante en el área de la soldadura.

$$\sigma_s = \frac{M * C}{I}$$

Datos:

- M : Momento en la tubería:

$$M = L_{\text{tub.comerc.}} * V_s$$

$$M = 7\text{m} * 737.277 \text{ N} = 5160.939 \text{ N.m}$$

- $C = r = 0.137\text{m}$

I: Momento de inercia (Anexo A.27); $I = 0.707 * h * I_u$ y $I_u = \pi * r^3$

$$\rightarrow I = 0.707 * 4.8 * 10^{-3} \text{ m} * \pi * (0.137 \text{ m})^3 = 2.741 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Reemplazando:

$$\sigma_s = \frac{5160.939 \text{ N.m} * 0.137 \text{ m}}{2.741 \times 10^{-5} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_s = 25795280.66 \text{ Pa}$$

- Esfuerzo máximo aplicado en la soldadura, según el criterio de la energía de Von Mises.

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 * \tau_s^2}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{(25795280.66 \text{ Pa})^2 + 3 * (24405.683 \text{ Pa})^2} = 25.799 \text{ MPa}$$

- Selección del tipo de electrodo

- Tipo: E 7018 (Anexo A.28)
- $S_y = 331 \text{ MPa}$

Donde el esfuerzo nominal del material sería: $\sigma_{\text{adm}} = S_y = 331 \text{ MPa}$

- Factor de seguridad de la soldadura.

$$n = \frac{\sigma_{\text{adm}}}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{331 \text{ MPa}}{25.799 \text{ MPa}} = 12.83$$

- Masa de la soldadura.

$$m_{\text{tuberías}} = \frac{\rho_s * h^2 * L_{\text{cord.}} * \text{f. s.}}{\eta_{\text{sold.}}}$$

Datos:

- ρ_s : Densidad de la soldadura, $\rho_s = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- h: Garganta de la soldadura, $h = 4.8 \times 10^{-3} \text{ m}$
- f. s.: Factor de seguridad, f. s. = 1.25
- $\eta_{\text{sold.}}$: Eficiencia de la soldadura, $\eta_{\text{sold.}} = 0.7$ (Anexo A.29)

- $L_{\text{cord.}}$: Longitud del cordón de la soldadura:

$$L_{\text{cord.}} = \sum \pi * d_{\text{ext.}}$$

$$L_{\text{cord.}} = \pi (0.1413\text{m} + 0.2191\text{m} + 0.1413\text{m} + 0.2191\text{m} + 0.2731\text{m} + 0.2731\text{m} + 0.762\text{m} + 0.1683\text{m})$$

$$\rightarrow L_{\text{cord.}} = 6.903 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$m_{\text{tuberías}} = \frac{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (4.8 \times 10^{-3} \text{m})^2 * 6.903 \text{m} * 1.25}{0.7}$$

$m_{\text{tuberías}} = 2.229 \text{ Kg}$
--

3.4.6.1. Análisis de soldadura a los perfiles estructurales

Tabla 21.

Análisis de soldadura en los perfiles estructurales

Presión del viento (KPa)	0.75
Área Lateral del Perfil (m2)	118.685
Fuerza del viento (KN)	89.014
Área de soldadura (m2)	2.723×10^{-3}
Nº Perfiles	36
Fuerza cortante en la soldadura (N)	2472.611
Esfuerzo cortante en la soldadura (Pa)	908046.64
Esfuerzo flexionante en la soldadura (Pa)	48448577.16
Esfuerzo flexionante máximo (MPa)	48.474
Esfuerzo flexionante admisible del electrodo (MPa)	331

Factor de seguridad	6.828
Longitud del cordón de soldadura (m)	50.549 m
Masa de soldadura (Kg)	7.256

Fuente: El autor

$$\therefore \text{Masa total de soldadura} = 2.229 \text{ Kg} + 7.256 \text{ Kg} = 9.485 \text{ Kg}$$

3.5. Dimensión y selección de una torre de enfriamiento y condensador industrial para el turbogenerador Escher Wyss.

3.5.1. Dimensionamiento y selección de la torre de enfriamiento

- Calor útil neto

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = \dot{Q}_{\text{útil}} * F. S.$$

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = 39186.948 \text{ KW} * 1.25$$

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = 48983.685 \text{ KW}$$

Del catálogo SICREA, seleccionamos la torre de enfriamiento modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 (Anexo A.30)

3.5.2. Dimensionamiento y selección de Condensador Industrial

a) Flujo másico de agua unitario

$$\dot{m}_{\text{agua,u}} = \rho' * U_{\text{ag}} * A_T$$

Donde:

- Temperatura promedio del agua de refrigeración:

$$\bar{T}_{\text{agua}} = \frac{T_{\text{ag,c}} + T_{\text{ag,f}}}{2} = \frac{48^{\circ}\text{C} + 35^{\circ}\text{C}}{2} = 41.5^{\circ}\text{C}$$

- Densidad promedio del agua:

$$\bar{\rho}_{\text{agua}} = 991.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Velocidad del agua:

$$U_{\text{agua}} = 0.61 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Área transversal de los tubos:

De la tabla de acero sin costura ASTM-A53 (Anexo A.12)

$$\begin{array}{l} \text{NPS} = 2'' \\ \text{SCH} = 80 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} d_{\text{ext}} = 60.3 \text{ mm} \\ e = 6.35 \text{ mm} \\ d_{\text{int}} = 47.6 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$A_T = \frac{\pi * (0.0603\text{m})^2}{4} = 1.78 * 10^{-3} \text{m}^2$$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{\text{agua,u}} = 991.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.61 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.78 * 10^{-3} \text{m}^2$$

$$\dot{m}_{\text{agua,u}} = 1.077 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

b) Número de tubos del condensador

$$N_t = \frac{\dot{m}_{\text{agua,t}}}{\dot{m}_{\text{agua,u}}} = \frac{721.011 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{1.077 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}$$

$$N_t = 669.462 \approx 676 \text{ tubos}$$

c) Recalculo de la velocidad del agua

$$U_{\text{agua}} = \frac{(\dot{m}_{\text{agua,u}})_r}{\rho' * A_T}$$

Donde:

$$(\dot{m}_{\text{agua,u}})_r = \frac{\dot{m}_{\text{agua,t}}}{N_t} = \frac{721.011 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{676} = 1.067 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Reemplazando:

$$U_{\text{agua}} = \frac{1.067 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{991.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.78 * 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$U_{\text{agua}} = 0.605 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d) Número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{U_v * d_{\text{int}} * \rho_v}{\mu_v} = \frac{0.605 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.0476 \text{m} * 991.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{364.993 * 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = 44969.366$$

e) Número de Nusselt

$$\text{Nu} = 0.023 * 44969.366^{0.8} * 4.195^{0.4}$$

$$\text{Nu} = 215.355$$

f) Coeficiente de convección interior

$$h_{\text{int}} = \frac{215.355 * 0.6327 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}}{0.0476 \text{m}}$$

$$h_{\text{int}} = 2862.502 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$$

g) Coeficiente de convección exterior

$$h_{\text{ext}} = \left[\frac{g * (\rho_L - \rho_v) * h_{fg}^* * K_L^3}{\nu_L * (T_{\text{sat}} - T_s) * N_f * d_{\text{ext}}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

- Propiedades físicas del vapor

Tabla 22.

Propiedades del vapor

$P_v = 2.38 \text{ bar@}$		
$T_{\text{sat}}(^{\circ}\text{C})$	$\rho_v \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$	$h_{\text{fg}} \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg}} \right)$
125.798	1.328	2185748

Fuente: El autor.

- Temperatura de la superficie exterior de los tubos

$$T_s = 0.85 * T_{\text{sat}} = 0.85 * 125.798^{\circ}\text{C} = 106.928^{\circ}\text{C}$$

- Propiedades del agua líquida a la temperatura de la película

$$T_f = \left(\frac{T_{\text{sat}} + T_s}{2} \right) = \left(\frac{125.798^{\circ}\text{C} + 106.928^{\circ}\text{C}}{2} \right) = 116.359^{\circ}\text{C}$$

Tabla 23.

Propiedades de la temperatura media del fluido

PROPIEDADES	SÍMBOLO	VALOR NUMÉRICO	UNIDAD
Densidad	ρ_L	946.012	$\frac{\text{Kg}^3}{\text{m}}$
Viscosidad cinemática	ν_L	$2.535 * 10^{-7}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
Calor específico	C_{pL}	4196.977	$\frac{\text{J}}{\text{Kg } ^{\circ}\text{C}}$
Conductividad térmica	K_L	0.6828	$\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$

Fuente: El autor

- Calor latente modificado de vaporización

$$h_{\text{fg}}^* = h_{\text{fg}} + 0.68 * C_{pL}(T_{\text{sat}} - T_s)$$

$$h_{\text{fg}}^* = 2185748 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} + 0.68 * 4196.977 \frac{\text{J}}{\text{Kg } ^{\circ}\text{C}} (125.798^{\circ}\text{C} - 106.928^{\circ}\text{C})$$

$$h_{fg}^* = 2239601.93 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

Reemplazando:

$$h_{\text{ext}} = \left[\frac{9.81 * (946.012 - 1.328) * 2239601.93 * 0.6828^3}{2.535 * 10^{-7} * (125.798^\circ\text{C} - 106.928^\circ\text{C}) * 26 * 0.0603} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$h_{\text{ext}} = 5448.057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

h) Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + R_{t,a}'' + \frac{e_t}{K_{\text{sat}}} + R_{t,v}'' + \frac{1}{h_{\text{ext}}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2862.502} + 0.0003 + \frac{0.0065}{49.822} + 0.0001 + \frac{1}{5448.057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}}}$$

$$U = 940.415 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

i) Variación de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T_{\text{mín}}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T_{\text{mín}}}\right)} = \frac{(81.359 - 77.798)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{81.359^\circ\text{C}}{77.798^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\Delta T_m = 79.565^\circ\text{C}$$

j) Superficie de intercambio de calor del condensador industrial

$$S_{\text{IC}} = \frac{\dot{Q}_u}{U * \Delta T_m}$$

Donde:

- Calor útil neto:

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = \dot{Q}_{\text{útil}} * F.S.$$

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = 17.853 (2714.62 - 528.437) * 1.25$$

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = 48787.406 \text{ KW}$$

Reemplazando:

$$S_{\text{IC}} = \frac{48787406 \text{ W}}{940.415 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 79.565\text{°C}}$$

$$S_{\text{IC}} = 652.028\text{m}^2$$

j) Longitud del condensador

$$L = \frac{S_{\text{IC}}}{\pi * d_{\text{ext}} * N_{\text{tubos}}} = \frac{652.028\text{m}^2}{\pi * 0.0603 \text{ m} * 676}$$

$$L = 5.41 \text{ m}$$

m) Diámetro del condensador

$$D_{\text{int}} = \sqrt{[(N_L - 1) * X]^2 + [(N_T - 1) * X]^2} + 2X$$

Datos:

- N_L : Número de tubos laterales, $N_L = 26$
- N_T : Número de tubos transversales, $N_T = 26$
- X : Separación entre tubos, $X = d_{\text{ext}} + L$

Donde: $d_{\text{ext}} = 0.0603 \text{ m}$ y $L = 0.01 \text{ m}$

$$\rightarrow X = 0.0603 \text{ m} + 0.01 \text{ m} = 0.0703 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$d_{\text{int}} = \sqrt{[(26 - 1) * 0.0703]^2 + [(26 - 1) * 0.0703]^2} + 2 * 0.0703 = 2.626\text{m}$$

Por lo tanto:

$$d_{\text{ext}} = d_{\text{int}} + 2e$$

$$d_{\text{ext}} = 2.626\text{m} + 2 * (6.35 * 10^{-3})\text{m}$$

$d_{\text{ext}} = 2.64 \text{ m}$

3.6. Rediseño del sistema de distribución del agua de refrigeración de la torre de enfriamiento al condensador

3.6.1. Rediseño de las tuberías del agua de refrigeración y agua de reposición

Tabla 24.

Tuberías de líquido saturado rediseñadas.

Tramo	Fluido	Longitud (m)	Material	NPS (pulg.)	SCH	Diámetro interior (m)	Diámetro exterior (m)	Esfuerzo admisible (bar)	Tiempo de vida (años)	Velocidad real del fluido (m/s)
11-12	Líquido saturado	44.5	ASTM – A53	37	40	0.9398	0.9525	824	50	1.051
13-14	Líquido saturado	44	ASTM – A53	37	40	0.9398	0.9525	824	50	1.046
15-16	Líquido saturado	11	ASTM – A53	2 1/2	40	0.0603	0.073	824	50	1.023
17-18	Líquido saturado	11	ASTM – A53	2 1/2	40	0.0603	0.073	824	50	1.018
25-26	Líquido saturado	34.3	ASTM – A53	3 1/2	40	0.0889	0.1016	824	50	1.205

Fuente: El autor

3.6.2. Dimensionamiento y selección de la bomba hidráulica del agua de refrigeración y agua de reposición.

3.6.2.1. Dimensionamiento de la bomba hidráulica del agua de refrigeración

a) Ecuación de energía entre los puntos (a) y (b):

$$H_{\text{SISTEMA}} = \frac{P_b - P_a}{\gamma_{\text{agua}}} + \frac{U_b - U_a}{2g} + Z_b - Z_a + H_{\text{pt}}$$

Donde:

- $P_b = 0$, Presión en la superficie de las toberas de la torre de enfriamiento.
- $P_a = 0$, Presión en la superficie de la tina de agua de la torre de enfriamiento.
- $U_b = 1.051 \text{ m/s}$, Velocidad de la tubería de agua caliente de refrigeración.
- $U_a = 0$, Velocidad en la superficie de la tina de la torre de enfriamiento.
- $Z_b - Z_a = 2.1 \text{ m}$, Altura geodésica entre las toberas y la tina de agua de la torre.

Reemplazando:

$$H_{\text{SISTEMA}} = \frac{1.051}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2.1 \text{ m} + H_{\text{pt}}$$

$$H_{\text{SISTEMA}} = 2.154 + H_{\text{pt}} \dots (\alpha)$$

Se tiene que:

$$H_{\text{pt}} = (H_p)_M + (H_p)_m$$

Donde:

$$(H_p)_M = f * \frac{L}{d_{\text{int}}} * \frac{U_{\text{agua}}^2}{2g}$$

Datos:

- $f = 0.012$
- $L = 88.5 \text{ m}$
- $U_{\text{agua}} = 1.051 \text{ m/s}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Reemplazando:

$$(H_p)_M = 0.012 * \frac{88.5 \text{ m}}{0.9398 \text{ m}} * \frac{1.051^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$(H_p)_M = 0.064 \text{ m}$$

Además:

$$(H_p)_m = \sum k * \frac{U_{\text{agua}}^2}{2g}$$

Donde:

- $\sum K = 7.612$ (Anexo A.31)
- $U_{\text{agua}} = 1.051 \text{ m/s}$

Reemplazando:

$$(H_p)_m = 7.612 * \frac{(1.051 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$(H_p)_m = 0.429 \text{ m}$$

Altura de pérdidas total:

$$H_{pt} = 0.064 \text{ m} + 0.429 \text{ m} = 0.493 \text{ m}$$

Reemplazando en α :

$$H_{\text{SISTEMA}} = 2.154 \text{ m} + 0.493 \text{ m}$$

$H_{\text{SISTEMA}} = 2.647 \text{ m}$
--

La altura neta de la bomba para su operación:

$$H_{\text{BOMBA}} = H_{\text{SISTEMA}} + H_{\text{CONDENSADOR}} + H_{\text{TOBERAS}}$$

Donde:

- $H_{\text{SISTEMA}} = 2.647 \text{ m}$
- $H_{\text{CONDENSADOR}} = 7.5 \text{ m}$ (Anexo A.30)
- $H_{\text{TOBERAS}} = 28.5 \text{ m}$ (Anexo A.30)

Reemplazando:

$$H_{\text{BOMBA}} = 2.647 \text{ m} + 7.5 \text{ m} + 28.5 \text{ m}$$

$H_{\text{BOMBA}} = 38.647 \text{ m}$

b) Caudal volumétrico de la bomba

$$Q = \frac{m_{\text{agua},x}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$Q = \frac{721.011 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{991.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 0.727 \text{ m}^3/\text{s} = 727 \text{ litros/s}$$

c) Selección de la bomba hidráulica

Debido a la gran cantidad de caudal que se necesita bombear se seleccionó del catálogo Hidrostat 3 bombas hidráulicas que trabajaran en paralelo modelo 200-400 con una velocidad de rotación de 1790 RPM (Anexo A.32).

Tabla 25.

Parámetros de operación de la bomba 200 - 400

Potencia	200 HP
Caudal	242.33 l/s
RPM	1790
NPSH _r	8 m
Rendimiento	68 %

Fuente: Catálogo de Bombas, Hidrostat, 2015, p.80.

d) Análisis de comprobación para evitar cavitación

$$\text{NPSH}_d = \frac{P_{\text{atm}} - P_v}{\rho * g} + h_{\text{succión}} - (H_{\text{pt}})_{\text{succión}}$$

Datos:

- $P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$
- $P_v = 0.08 \text{ bar}$
- $\rho = 991.57 \text{ Kg/m}^3$
- $H_{\text{succión}} = 1.5 \text{ m}$
- $(H_{\text{pt}})_{\text{succión}} = 0.1472 \text{ m}$

Reemplazando:

$$NPSH_d = \frac{(1 - 0.08) * 10^5 \text{ Pa}}{991.571 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1.5 \text{ m} - 0.1472 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 10.811 \text{ m}$$

Entonces:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$10.811 \text{ m} > 8 \text{ m}$$

∴ La bomba centrífuga no sufrirá de cavitación

3.6.2.2. Dimensionamiento de la bomba hidráulica del agua de reposición

a) Ecuación de energía entre los puntos (a) y (c):

$$H_{\text{SISTEMA}} = \frac{P_c - P_a}{\gamma_{\text{agua}}} + \frac{U_c - U_a}{2g} + Z_c - Z_a + H_{\text{pt}}$$

Donde:

- $P_c = 0$, Presión en la superficie del agua del subsuelo.
- $P_a = 0$, Presión en la superficie de la tina de agua de la torre de enfriamiento.
- $U_c = 0$, Velocidad en la superficie del agua del subsuelo.
- $U_a = 0$, Velocidad en la superficie de la tina de la torre de enfriamiento.
- $Z_c - Z_a = 9 \text{ m}$, Altura geodésica entre la tina de agua de la torre y el agua del subsuelo.
- $H_{\text{pt}} = 2.634 \text{ m}$, Altura de pérdidas totales.

Reemplazando:

$$H_{\text{BOMBA}} = H_{\text{SISTEMA}} = 9 \text{ m} + 2.634 \text{ m}$$

$$H_{\text{BOMBA}} = 11.634 \text{ m}$$

b) Caudal volumétrico de la bomba

$$Q = \frac{m_{\text{ag r}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$Q = \frac{7.469 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{998.363 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 7.481 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s} = 7.481 \text{ litros/s}$$

c) Selección de la bomba hidráulica

Del catálogo Hidrostat se seleccionó la bomba hidráulica modelo 50-160 con una velocidad de rotación de 1730 RPM (Anexo A.33)

Tabla 26.

Parámetros de operación de la bomba 50-160

Potencia	1.5 HP
Caudal	7.481 l/s
RPM	1730
NPSH_r	1.9 m
Rendimiento	74 %

Fuente: Catálogo de Bombas, Hidrostat, 2015, p.75.

d) Análisis de comprobación para evitar cavitación

$$\text{NPSH}_d = \frac{P_{\text{atm}} - P_v}{\rho * g} + h_{\text{succión}} - (H_{\text{pt}})_{\text{succión}}$$

Datos:

- $P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$
- $P_v = 0.022 \text{ bar}$
- $\rho = 998.363 \text{ Kg/m}^3$
- $H_{\text{succión}} = 3 \text{ m}$
- $(H_{\text{pt}})_{\text{succión}} = 0.62 \text{ m}$

Reemplazando:

$$NPSH_d = \frac{(1 - 0.022) * 10^5 \text{ Pa}}{998.363 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 3 \text{ m} - 0.62 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 12.366 \text{ m}$$

Entonces:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$12.366 \text{ m} > 1.9 \text{ m}$$

∴ La bomba centrífuga no sufrirá de cavitación

3.6.3. Selección de motores eléctricos para el accionamiento de las bombas hidráulicas de agua de refrigeración y agua de reposición.

3.6.3.1. Selección de motor eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica de agua de refrigeración

$$(P_{ME})_{MÁX} = \frac{200 \text{ HP}}{0.95 * 0.97}$$

$$(P_{ME})_{MÁX} = 217 \text{ HP} = 161.882 \text{ KW}$$

Del catálogo WEG se seleccionó el M.E. modelo W22 – IE 3. (Anexo A.34)

Tabla 27.

Ficha técnica del M.E. W22 – IE 3

Potencia	250 HP (185 KW)
Velocidad de rotación	1790 RPM
Nº polos	4
% Carga	86.8
Rendimiento	96.14 %
F.P.	0.85
Voltaje	380 V

Corriente nominal	336 A
--------------------------	-------

Fuente: w22 Motor Trifásico, WEG,p.50.

3.6.3.2. Selección de motor eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica de agua de refrigeración

Del catálogo WEG se seleccionó el M.E. modelo W22 – IE 1 (Anexo A.35)

Tabla 28.

Ficha técnica del M.E. W22 – IE 1.

Potencia	2 HP (1.5 KW)
Velocidad de rotación	1730 RPM
Nº polos	4
% Carga	96.5
Rendimiento	82 %
F.P.	0.78
Voltaje	220 V
Corriente nominal	6.08 A

Fuente: w22 Motor Trifásico, WEG,p.72.

3.6.4. Análisis estructural del sistema de distribución de agua de refrigeración

Tabla 29.

Perfiles estructurales de las tuberías de agua de refrigeración

Tramo	Carga (N)	Altura (m)	Perfil	Dimensiones del perfil (mm)					Cantidad
				b	h	e_{alma}	e_{ala}	d	
11-12	121237.695	5	W610 x 174	325	616	14	21.6	659.2	9
13-14	120384.889	5	W610 x 174	325	616	14	21.6	659.2	9

Fuente: El autor

Tabla 30.

Placas base soldadas a los perfiles estructurales

Tramo	Carga (N)	Material	Dimensiones (mm)	Espesor (pulg.)	Cantidad
11-12	129772.395	ASTM A - 36	0.425 x 0.7592	5/16	18
13-14	129919.589	ASTM A - 36	0.425 x 0.7592	5/16	18

Fuente: El autor

Tabla 31.

Pernos de sujeción de las estructuras

Tramo	Carga (N)	TIPO	Diámetro (pulg.)	Cantidad
11-12	32443.099	Nº 4 SAE - HEXAGONAL M12	1/2	36
13-14	32229.897	Nº 4 SAE - HEXAGONAL M12	1/2	36

Fuente: El autor

Tabla 32.

Cimientos que soportaran la carga total

Tramo	Carga (N)	B_{mín} (m)	Dimensiones (m)	Cantidad
11-12	130164.245	0.591	0.7592 x 0.591 x 0.2955	9
13-14	32229.897	0.591	0.7592 x 0.591 x 0.2955	9

Fuente: El autor

3.6.5. Cimientos para las bombas centrífugas y motores eléctricos de las líneas de agua de refrigeración y agua de reposición

Tabla 33.

Cimientos que soportaran la carga total de las B.C y M.E.

Aplicación	Carga (N)	B_{mín} (m)	Dimensiones (m)	Cantidad
Agua Refrigeración	12448.89	0.187	0.504 x 2.253 x 1	1
Agua reposición	524.835	0.591	0.0.314x 0.796 x 1	1

Fuente: Catálogo de Bombas, Hidrosta, 2015, p.80.

3.7. Dimensionamiento y selección de conductores en baja y media tensión

3.7.1. Dimensionamiento de conductores en baja tensión

- Voltaje de operación

$$U_L = 380 \text{ V}$$

- Caída de voltaje permitida

$$\Delta U = 0.015 U_L$$

$$\Delta U = 0.015 * 380 \text{ V}$$

$$\Delta U = 5.7 \text{ V}$$

- Corriente nominal

$$I_n = 336 \text{ A}$$

- Corriente de operación

$$I_{op} = \frac{161.882 * 10^3 \text{ W}}{\sqrt{3} * 380 \text{ V} * 0.85} = 289.36 \text{ A}$$

- Resistencia eléctrica del conductor

$$R_{cd} = \frac{5.7 \text{ V}}{336 \text{ A}} = 0.017 \text{ ohmios}$$

- Superficie del conductor

$$S_{cd} = \frac{0.0179 * 60}{0.017} = 63.18 \text{ mm}^2$$

De catálogo seleccionamos el calibre AWG 2/0 con una sección de 3 x1 - 67.43 mm²
(Anexo A.36)

Tabla 34.

Conductores de baja tensión

LONGITUD (m)	CONDUCTOR	SECCION (mm ²)
60	AWG - 2/0	3-1 x 67,43
70	AWG - 12	3 - 1 x 3,309
50	AWG - 10	3 - 1 x 5,261
5	AWG - 4/0	3-1 x 107,20

Fuente: Comparacion de calibres de conductor, AWG,2016,p.1.

3.7.2. Dimensionamiento de los conductores eléctricos en media tensión.

Conductor eléctrico del generador eléctrico Escher Wyss al transformador de la planta

a) Dimensionamiento del conductor

- Intensidad eléctrica nominal.

$$I_n = \frac{P_{GE}}{\sqrt{3} * \cos \varphi * U_{n1}}$$

$$I_n = \frac{5000 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 0.85 * 10 \text{ KV}} = 339.62 \text{ A}$$

- Corriente de diseño.

$$I_d = \frac{I_n}{F_1 * F_2 * F_3}$$

Donde:

- $F_1 = 0.91$, factor de corrección por temperatura.
- $F_2 = 0.92$, factor de corrección por resistencia térmica del terreno.
- $F_3 = 0.93$, factor de corrección por profundidad.

Reemplazando:

$$I_d = \frac{339.62 \text{ A}}{0.91 * 0.92 * 0.93} = 436.2 \text{ A}$$

De la ficha técnica de conductores INDECO, se seleccionará el conductor eléctrico tipo N2XSY de 8.7/15 KV enterrado, con una sección de 3-1X 185 mm² en formación tripolar en contacto con una intensidad nominal de 460 A (Anexo A.37)

b) Verificación de la selección del conductor por capacidad de corriente

Se debe cumplir:

$$I_{cd} > I_d$$

Entonces:

$$460 \text{ A} > 436.2 \text{ A}$$

∴ No fallará por capacidad de corriente

c) Verificación por caída de voltaje.

- Resistencia del conductor a la temperatura máxima de operación de 90 °C

$$(R_t)_{MÁX} = (R_t)_{MÍN} * (1 + \alpha * \Delta T)$$

Donde:

- De tabla de parámetros eléctricos (Anexo A.37)

$$(R_t)_{MÍN} = 0.128 \frac{\Omega}{\text{km}} \text{ y } X_L = 0.123 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Coeficiente térmico del cobre

$$\alpha = 0.00382 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- Variación de temperatura:

$$\Delta T = (T)_{\text{max}} - (T)_{\text{min}}$$

$$\Delta T = 90 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Reemplazando:

$$(R_t)_{MÁX} = 0.128 \frac{\Omega}{\text{km}} * (1 + 0.00382 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * 70 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0.162 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Reactancia inductiva e impedancia.

- Reactancia:

$$X_L = 0.123 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Impedancia:

$$Z = \sqrt{(X_L)^2 + ((R_t)_{MAX})^2}$$

$$\rightarrow Z = \sqrt{\left(0.123 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)^2 + \left(0.162 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)^2} = 0.203 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Factor de potencia:

$$\cos \phi = \frac{(R_t)_{MAX}}{Z}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{0.162 \frac{\Omega}{\text{km}}}{0.203 \frac{\Omega}{\text{km}}} \right) = 37.06^\circ$$

- Caída de voltaje

$$\Delta U_{cd} = \sqrt{3} * I_d * L * ((R_t)_{MAX} * \cos \Phi + X_L * \sin \Phi)$$

Datos:

- $I_d = 436.2 \text{ A}$
- $L = 0.025 \text{ km}$
- $(R_t)_{MAX} = 0.162 \frac{\Omega}{\text{km}}$
- $\cos \phi = 0.798$
- $X_L = 0.123 \frac{\Omega}{\text{km}}$ (Anexo A.37)
- $\sin \phi = 0.603$

Reemplazando:

$$\Delta U_{cd} = \sqrt{3} * 436.2 \text{ A} * 0.025 \text{ km} * \left(0.162 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0.798 + 0.123 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0.603 \right)$$

$$\Delta U_{cd} = 3.84 \text{ V}$$

Se debe cumplir:

$$\Delta U_{cd} \leq 3.5 \% * U_{n1}$$

Entonces:

$$3.84 \text{ v} \leq 3.5 \% * 1000 \text{ V}$$

$$3.84 \text{ V} \leq 350 \text{ V}$$

∴ No fallará por caída de voltaje

c) Verificación por cortocircuito.

- Corriente para el cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U_n}$$

Datos:

- $S_{cc} = 130000 \text{ KVA}$
- $U_n = 10 \text{ KV}$

Reemplazando:

$$I_{cc} = \frac{130000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 10 \text{ KV}} = 7505.6 \text{ A}$$

- Superficie o área en la que ocurre el corto circuito.

$$A_{cc} = \frac{I_{cc}}{13 * \left(\frac{\Delta \epsilon}{t}\right)^{0.5}}$$

Datos:

- $\Delta \epsilon = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura que soporta el cobre en corto circuito
- $t = 0.04 \text{ s}$, Tiempo de corto circuito del cobre.

Reemplazando:

$$A_{cc} = \frac{7505.6 \text{ A}}{13 * \left(\frac{250 \text{ }^{\circ}\text{C}}{0.04 \text{ s}} \right)^{0.5}} = 7.3 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se debe cumplir:

$$A_{cc} \ll A_{cd}$$

Entonces:

$$7.3 \text{ mm}^2 \ll 185 \text{ mm}^2$$

\therefore No fallará por cortocircuito.

3.8. Evaluación del análisis económico y financiero el ROI, VAN y el TIR.

3.8.1. Beneficio económico bruto del proyecto

3.8.1.1. Beneficio económico por generación de E.E. para el accionamiento de los motores eléctricos y ventiladores de la torre de enfriamiento

- Costo por cogeneración de energía eléctrica de la planta.

$$C_{\text{generacion E.E.}} = P_{\text{accionam.}} * (C_u)_{\text{E.E-planta}} * T_{\text{op.}}$$

Datos:

- $P_{\text{accionam.}} = 766.5 \text{ KW}$, potencia requerida por los motores eléctricos y ventiladores
- $T_{\text{op.}} = 8395 \frac{\text{h}}{\text{año}}$
- $(C_u)_{\text{E.E-planta}}$: Costo de energía eléctrica.

$$(C_u)_{\text{E.E-planta}} = \frac{\dot{m}_{\text{cble}} * (C_u)_{\text{cble}}}{P_{\text{GE}}}$$

Datos:

- $\dot{m}_{\text{cble}} = 5.903 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 21250.8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
- $(C_u)_{\text{cble}} = 63 \frac{\text{N.S.}}{\text{TN}} = 0.063 \frac{\text{N.S.}}{\text{kg}}$
- $P_{\text{GE}} = 6600 \text{ KW}$

Reemplazando:

$$(C_u)_{\text{E.E-planta}} = \frac{21250.8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0.063 \frac{\text{N.S.}}{\text{kg}}}{6600 \text{ KW}} = 0.203 \frac{\text{N.S.}}{\text{KW.h}} = 0.06 \frac{\text{US\$}}{\text{KW.h}}$$

Entonces:

$$C_{\text{generacion E.E.}} = 766.5 \text{ KW} * 0.06 \frac{\text{US\$}}{\text{KW.h}} * 8395 \frac{\text{h}}{\text{año}}$$
$$C_{\text{generacion E.E.}} = 386086.05 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

-Costo por energía eléctrica a SEIN.

$$(C_{\text{E.E.}})_{\text{SEIN}} = P_{\text{accionam.}} * (C_u)_{\text{E.E-SEIN}} * T_{\text{op.}}$$

Datos:

- $P_{\text{accionam.}} = 766.5 \text{ KW}$

- $T_{op.} = 8395 \frac{h}{año}$
- $(C_u)_{E.E-SEIN} = 0.08 \frac{US\$}{año}$

Reemplazando:

$$(C_{E.E.})_{SEIN} = 766.5 \text{ KW} * 0.08 \frac{US\$}{año} * 8395 \frac{h}{año}$$

$$(C_{E.E.})_{SEIN} = \mathbf{514781.4 \frac{US\$}{año}}$$

Por lo tanto:

$$B_{pot-accionamiento} = 514781.4 \frac{US\$}{año} - 386086.05 \frac{US\$}{año}$$

$$B_{pot-accionamiento} = \mathbf{128695.35 \frac{US\$}{año}}$$

3.8.1.2 Beneficio económico por venta de energía eléctrica al SEIN.

$$B_{VENTA-SEIN} = P_{VENDIDA-SEIN} * C_{SEIN} * T_{op.}$$

Donde:

$$P_{VENDIDA-SEIN} = (P_{GE})_{Total} - P_{PROC-PLANTA} - P_{accionam.}$$

Datos:

- $(P_{GE})_{Total} = 6600 \text{ KW}$
- $P_{PROC-PLANTA} = 4066.88 \text{ KW}$
- $P_{accionam.} = 766.5 \text{ KW}$

Reemplazando:

$$P_{VENDIDA-SEIN} = 6600 \text{ KW} - 4066.88 \text{ KW} - 766.5 \text{ KW} = 1766.62 \text{ KW}$$

Luego:

$$B_{VENTA-SEIN} = P_{VENDIDA-SEIN} * C_{SEIN} * T_{op.}$$

$$B_{VENTA-SEIN} = 1766.62 \text{ KW} * 0.08 \frac{US\$}{año} * 8395 \frac{h}{año}$$

$$B_{VENTA-SEIN} = \mathbf{1186461.992 \frac{US\$}{año}}$$

Por lo tanto:

$$B_{Bruto} = B_{pot-accionamiento} + B_{VENTA-SEIN}$$

$$B_{\text{Bruto}} = 128695.35 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} + 1186461.992 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

$$B_{\text{Bruto}} = 1315157.342 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

3.8.2 Beneficio útil del proyecto.

$$B_{\text{útil}} = B_{\text{bruto}} - C_{\text{MTTO}} - C_{\text{Pers.Mtto.}}$$

3.8.2.1 Costos de mantenimiento:

Tabla 35.

Costos de mantenimiento anual de la planta termoeléctrica.

EQUIPO	COSTO. DE MTTO. (US\$/año)
Calderas	124517.36
transformadores	20693.00
Turbogeneradores	37221.96
Ablandadores	7254.61
Equipos electricos	15789.74
Equipos térmicos	14584.04
Torre de enfriamiento	22458.52
Tablero de distribución	15098.51
Tablero de alimentación secundario	11450.28
Tubería de vapor	13067.19
Condensador industrial	11817.87
TOTAL	293953.08

Fuente: El Ingenio S.A.

El costo de mantenimiento será:

$$C_{\text{MTTO}} = 293953.08 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

3.8.2.2 Costos del personal de mantenimiento:

Tabla 36:

Cuadro de costos del personal de mantenimiento.

PERSONAL	Número de personal	Salario mens. (S./.)	Numero de aguinaldos	Beneficio Social (%)	Tiempo (Meses/Año)	Costo Total (N.S./Año)
JEFE DE MANTENIMIENTO	1	8250	2	9	12	125895
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO	4	4500	2	9	12	274680
JEFE MAESTRANZA	1	3500	2	9	12	53410
TECNICO DE MANTENIMIENTO	4	2200	2	9	12	134288
PERSONAL ADMINISTRATIVO	2	1750	2	9	12	53410
TOTAL (N.S/año)						641683
TOTAL (US\$/año)						191547.16

Fuente: El Ingenio S.A.

Por lo tanto, el beneficio útil, será:

$$B_{\text{útil}} = 1315157.00 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} - 293953.08 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} - 191547.16 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

$$B_{\text{útil}} = 829657.102 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

3.8.3. Costo de inversión del Proyecto

Tabla 37:

Costo de inversión del proyecto

FIXED ASSETS	QUANTITY	UNITY	UNIT VALUE (\$)	TOTAL VALUE (\$)
STE				29843.784
Tubería ASTM A-192, NPS: 5 in, SCH: 80	9	m	57.600	518.400
Tubería ASTM A-192, NPS: 8 in, SCH: 30	26	m	34.560	898.560
Tubería ASTM A-192, NPS: 5 in, SCH: 80	7	m	57.600	403.200
Tubería ASTM A-192, NPS: 8 in, SCH: 30	22	m	34.560	760.320
Tubería ASTM A-192, NPS: 10 in, SCH: 30	2.8	m	43.200	120.960
Tubería ASTM A-192, NPS: 10 in, SCH: 30	17.5	m	187.200	3276.000
Tubería ASTM A-53, NPS: 30 in, SCH: 40	12	m	172.800	2073.600
Tubería ASTM A-53, NPS: 6 in, SCH: 40	94	m	34.560	3248.640
Tubería ASTM A-53, NPS: 2 1/2 in, SCH: 40	11	m	8.496	93.456
Tubería ASTM A-53, NPS: 2 1/2 in, SCH: 40	11	m	14.400	158.400
Tubería ASTM A-53, NPS: 3 1/2 in, SCH: 40	34.3	m	20.160	691.488
Tubería ASTM A-53, NPS: 22 in, SCH: 40	10	m	126.720	1267.200
Tubería ASTM A-53, e: 1/4 in, De: 37 1/2 in	44.5	m	184.560	8212.920
Tubería ASTM A-53, e: 1/4 in, De: 37 1/2 in	44	m	184.560	8120.640
INDUSTRIAL THERMAL INSULATION				3864.869
Lana Mineral de Roca y cubierta protectora papel Al, Fardo (mm): 1200x600x30	100.23	Unid	38.56	3864.869
MET				11656.781
Estructura ASTM A-36, W310X32.90, L: 6 m	2	Unid	61.81	123.624
Estructura ASTM A-36, W360X51, L: 6 m	4	Unid	111.27	445.091
Estructura ASTM A-36, W360X44, L: 6 m	1	Unid	96.00	96.000
Estructura ASTM A-36, W360X44, L: 6 m	4	Unid	96.00	384.000
Estructura ASTM A-36, W360X32.90, L: 6m	1	Unid	71.78	71.782
Estructura ASTM A-36, W410X46.10, L: 6m	3	Unid	114.55	343.655
Estructura ASTM A-36, W410X53, L: 4 m	3	Unid	131.70	395.091
Estructura ASTM A-36, W610X174, L: 5 m	9	Unid	544.31	4898.769
Estructura ASTM A-36, W610X174, L: 5 m	9	Unid	544.31	4898.769
METAL SUPPORT PLATES				2993.170
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.227 m, L: 0.466 m,	0.4231	m2	124.56	52.705
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.271 m, L: 0.4782	1.0367	m2	124.56	129.136
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.271 m, L: 0.4716 m,	0.2556	m2	124.56	31.838
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.271 m, L: 0.4716 m,	1.0224	m2	124.56	127.354
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.227 m, L: 0.466 m,	0.2116	m2	124.56	26.352
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.240 m, L: 0.5254 m,	0.7566	m2	124.56	94.239
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.125 in, A: 0.277m, L: 0.5254 m,	0.8722	m2	124.56	108.643
Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.3125 in, A: 0.425 m, L: 0.6592	5.0429	m2	240.23	1211.451

Placa Metálica ASTM A-36, e: 0.3125 in, A: 0.425 m, L: 0.6592	5.0429	m2	240.23	1211.451
CONCRETE FOUNDATIONS				8023.991
Cimiento de concreto, A: 227 mm, L: 466 mm, H: 63 mm, n:2	0.0133	m3	1545.65	20.601
Cimiento de concreto, A: 271 mm, L: 478.20 mm, H: 82 mm, n:4	0.0425	m3	1545.65	65.700
Cimiento de concreto, A: 271 mm, L: 471.60 mm, H: 77 mm, n:1	0.0098	m3	1545.65	15.211
Cimiento de concreto, A: 271 mm, L: 471.60 mm, H: 75.50 mm,	0.0386	m3	1545.65	59.657
Cimiento de concreto, A: 227 mm, L: 466 mm, H: 64.50 mm, n:1	0.0068	m3	1545.65	10.546
Cimiento de concreto, A: 240 mm, L: 525.40 mm, H: 90 mm, n:3	0.0340	m3	1545.65	52.623
Cimiento de concreto, A: 277 mm, L: 524.80 mm, H: 62 mm, n:3	0.0270	m3	1545.65	41.792
Cimiento de concreto, A: 425 mm, L: 659.20 mm, h: 29.55 mm,	0.7451	m3	1545.65	1151.641
Cimiento de concreto, A: 425 mm, L: 659.20 mm, h: 29.45 mm,	0.7426	m3	1545.65	1147.744
Cimiento de concreto, A: 0.504 mm, L: 2253 mm, h: 1000 mm,	3.4065	m3	1545.65	5265.312
Cimiento de concreto, A: 314 mm, L: 796 mm, h: 500 mm, n:1	0.1250	m3	1545.65	193.163
CLAMPING BOLTS				807.240
Perno N°1 SAE Hexagonal, M8, d: 1/4 in	8	Unid	4.33	34.64
Perno N°1 SAE Hexagonal, M8, d: 1/4 in	16	Unid	4.33	69.28
Perno N°1 SAE Hexagonal, M8, d: 1/4 in	4	Unid	4.33	17.32
Perno N°1 SAE Hexagonal, M8, d: 1/4 in	16	Unid	4.33	69.28
Perno N°1 SAE Hexagonal, M8, d: 1/4 in	4	Unid	4.33	17.32
Perno N°1 SAE Hexagonal, M10, d: 5/16 in	12	Unid	6.01	72.12
Perno N°1 SAE Hexagonal, M16, d: 5/8 in	12	Unid	7.22	86.64
Perno N°1 SAE Hexagonal, M12, d: 1/2 in	36	Unid	6.12	220.32
Perno N°1 SAE Hexagonal, M12, d: 1/2 in	36	Unid	6.12	220.32
THERMAL EXPANSION JOINTS				248.425
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 5 in	1	Unid	27.00	27.003
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 8 in	1	Unid	43.20	43.204
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 5 in	1	Unid	27.00	27.003
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 8 in	1	Unid	43.20	43.204
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 10 in	1	Unid	54.01	54.005
Junta de Dilatación, ABS: 25 mm, NPS: 10 in	1	Unid	54.01	54.005
CHECK VALVES FOR FLUID GATES				4321.360
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 80 in, Qn:	1	Unid	93.933	93.933
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 125 in, Qn:	1	Unid	440.313	440.313
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 100 in, Qn:	1	Unid	195.695	195.695
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 125 in, Qn:	1	Unid	440.313	440.313
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 250 in, Qn:	1	Unid	2250.225	2250.225
10000 m3/h				
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 150 in, Qn:	1	Unid	851.272	851.272
Válvula Compuerta de acero al carbón fundido, Dn: 65 in, Qn:	1	Unid	49.609	49.609
ELE				124.633
Soldadura A Tope, Electrodo E 7018	9.485	Kg	13.140	124.633
INDUSTRIAL PROCESS CONDENSER				21560.550
Condensador Industrial ASTM A-53 SCH 40, m: 17.853 Kg/s	1	Glb	21560.550	21560.550

HYDRAULIC ATTACHMENTS				258.280
Codo 90° ASMT A 192, NPS: 5 in	2	Unid	5.600	11.200
Codo 90° ASMT A 192, NPS: 8 in	2	Unid	8.960	17.920
Codo 90° ASMT A 192, NPS: 10 in	2	Unid	9.000	18.000
Codo 90° ASMT A 192, NPS: 30 in	2	Unid	12.000	24.000
Codo 90° ASMT A 192, NPS: 6 in	3	Unid	6.720	20.160
Codo 90° ASMT A 53, NPS: 2 1/2 in	4	Unid	2.800	11.200
Codo 90° ASMT A 53, NPS: 3 1/2 in	4	Unid	3.920	15.680
Codo 90° ASMT A 53, NPS: 37 1/2 in	3	Unid	12.000	36.000
Codo 45° ASTM A 53, NPS: 37 1/2 in	4	Unid	13.125	52.500
Te ASTM A 192, NPS: 10 in	2	Unid	11.200	22.400
Te ASTM A 192, NPS: 6 in	1	Unid	6.720	6.720
Te ASTM A 53, NPS: 37 1/2 in	2	Unid	11.250	22.500
HYDRAULIC WATER PUMPS				4749.360
Bomba Hidráulica Hidrostral 200-400, 200 HP, 1790 RPM, U:	3	Glb	1564.57	4693.710
Bomba Hidráulica Hidrostral 50-160, 1.5 HP, 1730 RPM, U: 220V	1	Glb	55.65	55.650
ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR				2687.320
Motor eléctrico WEG, W22-IE 3, Carcasa 315 S/M, 250 HP, N°P:4, 1790RPM, 380V	3	Glb	880.48	2641.440
Motor eléctrico WEG, W22-IE 1, Carcasa 90S, 2 HP, N°P:4, 1730RPM, 220V	1	Glb	45.88	45.880
ELE				614.350
Conductor eléctrico de baja tensión 3-1x67.43 mm2, AWG 2/0	60	m	5.45	327.000
Conductor eléctrico de baja tensión 3-1x3.309 mm2, AWG 12	70	m	1.15	80.500
Conductor eléctrico de baja tensión 3-1x5.261 mm2, AWG 10	50	m	1.03	51.500
Conductor eléctrico de baja tensión 3-1x107.20 mm2, AWG 4/0	5	m	7.22	36.100
HYDRAULIC WATER PUMPS				4749.360
Bomba Hidráulica Hidrostral 200-400, 200 HP, 1790 RPM, U:	3	Glb	1564.57	4693.710
COOLING TOWER				73637.420
Torre de Enfriamiento SICREA COOLPACK SR 2920/OU-7T-C70.34. O: 50938KW	1	Glb	73637.42	73637.420
PROFESSIONAL WORKFORCE				52925.290
Mano de obra calificada, Presupuestado al valor actual del 32% del costo total	1	Glb	52925.290	52925.290
TOT				218316.823

Fuente: El autor.

$$\therefore C_{\text{inversión}} = 8218316.823 \text{ US\$}$$

3.8.4. Periodo de retorno de la inversión

$$R.O.I = \frac{218316.82\$}{829657.10 \frac{\$}{\text{año}}} = 0.3 \text{ años} = 3.6 \text{ meses}$$

3.8.5. Cálculo del VAN y TIR

Para el análisis de VAN y TIR, se consultó a la entidad bancaria BBVA Continental, obteniendo los siguientes datos, para el estudio financiero:

- Tasa de interés: 11%
- Periodo de préstamo: 10 años

En la siguiente tabla, se muestran los valores del VAN y TIR, los cuales son satisfactorios desde el punto de vista financiero para el proyecto en estudio.

Tabla 38.

Calculo de TIR y VAN.

CÁLCULO DEL VAN Y TIR		
Años	Flujo de Fondos	Movimientos en el Periodo - Año
Inversión	-\$218,316.82	Costo Inicial del Proyecto
1	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
2	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
3	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
4	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
5	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
6	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
7	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
8	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
9	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
10	\$829,657.10	Beneficios Netos anuales
Total Ingresos	\$8,296,571	
Tasa de		
Interés:	11.00%	

TIR	380%	Tasa interna de Retorno
VAN	\$ 4'667,726.00	Valor Actual Neto

Fuente: El autor

IV. DISCUSIÓN

- Del balance de masa y energía en estado actual de la planta termoeléctrica se obtuvo que el rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14 %, por otra parte (Oropin, 2006) en su investigación titulada “Cálculo y diseño eléctrico de una cocina industrial y estudio de transferencia de calor en una torre de enfriamiento y su influencia en la eficiencia del ciclo Rankine, en el Ingenio azucarero Santa Ana” concluye que, en base al análisis termodinámico efectuado sobre el ciclo regenerativo de la unidad de 25 MW, se pudo determinar que el rendimiento térmico del ciclo es del 53%, valor por encima del publicado por la CONAE (52%). La diferencia entre los rendimientos termodinámicos de ambas investigaciones se ve muy marcada y esto se debe a que la empresa azucarera el Ingenio S.A. trabaja solo con turbinas a condensación pura, las cuales no generan calor útil; en cambio en la empresa azucarera Santa Ana utilizan una turbina a contrapresión la cual si genera calor útil que es utilizado para los distintos procesos de producción de la azúcar, contribuyendo así con el rendimiento del ciclo termodinámico.

De acuerdo con los rangos conocidos en el campo laboral se tiene que el rendimiento de una planta termoeléctrica de cogeneración a vapor varía entre 50 - 80%, por lo que el rendimiento obtenido en mi investigación se encuentra fuera de los rangos de funcionamiento.

- Para que se genere 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss se necesitará un flujo másico de vapor de 17.853 Kg/s, el cuál se condensara y posteriormente retornará como agua de alimentación hacia las calderas acuotubulares a una temperatura de 100°C, generando así ahorros económicos para la empresa en lo que respecta a agua y combustible.

Para reafirmar lo anteriormente dicho (Rios, 2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” concluye que el beneficio de la instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial traerá consigo una reducción en el consumo de agua en 3.014 Kg/s debido a que se elevará la temperatura del agua de alimentación de las calderas, debido a la elevada temperatura del condensado, además de generar grandes ahorros económicos de combustible. Por consiguiente, basado en los resultados obtenidos de ambas investigaciones y en las teorías de (Cengel y Boles, 2011) en su libro “Termodinámica” se puede afirmar que la

instalación de un condensador industrial es factible económicamente, ambientalmente y tecnológicamente para la empresa.

- Debido al incremento de demanda de agua de condensación y a la limitación de la torre existente, se plantea instalar una nueva torre de enfriamiento para el turbogenerador Escher Wyss que entregará 721.011 Kg/s de agua de refrigeración y se necesitará una capacidad en el condensador industrial y torre de enfriamiento de 39029.925 KW y 39186.948 KW respectivamente. Por su parte (Carias,2010) en su investigación “Análisis termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, Ingenio Tululá.” concluye que la torre de enfriamiento W400 que actualmente trabaja es insuficiente para enfriar el agua que utiliza el condensador del área de Cogeneración, ya que el caudal para el cual fue diseñada era de 1009.443 Kg/s se tiene un exceso de 227.125 Kg/s, actualmente circula un caudal de 1236.568 Kg/s con base en el análisis termodinámico efectuado.

Teniendo en cuenta las teorías de (Cengel y Boles,2011) en su libro “Termodinámica” se verifica que para ambos casos se debe instalar una nueva torre de enfriamiento debido a que las que se encuentran instaladas actualmente no logran satisfacer la demanda de agua de condensación y por consiguiente el proceso no se puede realizar a plenitud.

- El flujo másico de vapor que circulara por las tuberías para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es 3.12 veces mayor que la que circula actualmente. Es por esto que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado. Mientras que (Rios,2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” dimensionó el sistema de distribución de las líneas de retorno de agua de alimentación condensada hacia la caldera, selección de aislamiento térmico, análisis estructural y soldadura. La diferencia entre mi investigación y la de (Rios,2015) es que en mi caso se procedió a rediseñar las líneas de producción de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido sin modificar la distribución de los equipos; por otro lado (Rios,2015) dimensionó solamente las tuberías de líquido saturado que retornan hacia la caldera acuotubular, pero en su caso él tuvo que diseñar de acuerdo a sus criterios la distribución de las mismas. Estos lineamientos se basan a las teorías de

los autores Cengel (Transferencia de calor), Hibbeler (Mecánica de materiales) y Mott (Mecánica de fluidos) los cuales garantizan la aceptabilidad de los resultados.

- Se dimensionó el condensador industrial y la torre de enfriamiento teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.25, obteniendo que la capacidad neta de cada uno de los equipos 48787.406 KW y 48983.685 KW respectivamente. Luego se procedió a seleccionar la torre de enfriamiento del catálogo SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 que cuenta con una capacidad nominal de 50938 KW y también se procedió a fabricar el condensador industrial de carcasa y tubos con una longitud de 5.41 m, diámetro de 2.64 m, material ASTM A53, de un solo paso, flujo a contracorriente, con una sección de intercambio de calor de 693.332 m² y con un diámetro del serpentín de 2 pulgadas, el cual será fabricado por la misma empresa. (Rios, 2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” Seleccionó la Torre de enfriamiento SICREA COOLPACK SR4512X2/ OU-12C-C70.34 de una capacidad de 2281.5 KW y se fabricó el condensador de carcasa y tubos de una longitud de 2 m, diámetro de 1.095 m, material ASTM A53, diámetro de serpentín ¾ pulgadas. En ambas investigaciones se procedió con la misma metodología a seleccionar una torre de enfriamiento y a fabricar un condensador industrial, pero para cada caso se realizó sus cálculos correspondientes de acuerdo con la demanda existente de su respectiva empresa y a los parámetros de funcionamiento de sus equipos. Los lineamientos anteriormente calculados estuvieron basados en las teorías de (Incropera, 2009) en su libro “Fundamentos de transferencia de calor”.
- El flujo másico de agua de refrigeración que circulara para condensar los 17.853 kg/s de vapor es 721.011 kg/s entregados por la torre de enfriamiento y el flujo de agua de reposición que necesitará la misma es de 7.469 Kg/s. Esto es debido a que el flujo másico de agua incrementó, por lo que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de líquido saturado sin variar la geometría de distribución de los equipos, para el cual se empleó tuberías ASTM A53, se seleccionó 3 bombas centrífugas de 200 HP que trabajaran en paralelo para distribuir el agua de refrigeración y 1 bomba centrífuga de 1.5 HP para el sistema de agua de reposición, también se seleccionó 3 motores para las bombas en paralelo de una capacidad de 250 HP y 1 motor de 2 HP para la red de agua

de reposición, cálculo de cimientos y soldadura. por su parte (Rios, 2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” dimensionó el sistema de distribución de agua de condensación y las líneas de agua de reposición, seleccionó de aislamiento térmico, seleccionó una bomba de 25 HP para la línea de agua de condensación, análisis estructural y soldadura.

En cada investigación se procedió a dimensionar de acuerdo a la demanda existente de agua de refrigeración y agua de reposición, pero ambas se basaron en los lineamientos de los autores Cengel (Transferencia de calor), Hibbeler (Mecánica de materiales) y Mott (Mecánica de fluidos) los cuales garantizan la aceptabilidad de los resultados.

- Se dimensionó nuevos conductores en media y baja tensión debido a que la capacidad de generación de energía eléctrica se incrementará. (Rios, 2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” solamente dimensionó los conductores en baja tensión de sus bombas centrifugas y ventiladores de su torre de enfriamiento debido a que el no iba a incrementar su producción de energía eléctrica. La única diferencia entre ambas investigaciones es que en la mía se rediseño el calibre de los conductores en baja y media tensión, mientras que en la de Ríos, M (2015) solo se dimensionó para baja tensión. El procedimiento realizado para cada investigación estuvo basado en teorías del autor (Sanz,2009) en su libro “Instalaciones eléctricas”.
- Del análisis económico y financiero se obtuvo un ROI de 3.6 meses, con un beneficio útil de 829657.102 US\$/año y una inversión de 218316.823 US\$, además se obtuvo un VAN de 4'667,726.00 US\$ y un TIR de 380 %. Por su parte (Carías,2010) en su tesis titulada “Análisis termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, ingenio Tululá” sostiene que el ROI obtenido en su investigación es de 5 meses con un beneficio útil de 452701.00 US\$/año y una inversión de 288203.00 US\$.

Se puede afirmar que mi investigación es mucho más factible que la de (Carías,2010) y que el periodo de retorno de inversión es menor que la de él, a pesar de que en su investigación solamente instalará una torre de enfriamiento. Los resultados estuvieron

basados en la teoría del autor Park en su libro “Fundamentos de la Ingeniería económica”

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que el estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss es factible en todos los aspectos debido a que se eliminará la dependencia de energía eléctrica del SEIN, generará grandes ingresos económicos para la empresa con la venta del excedente de la misma, contribuye con el ahorro de combustible en las calderas y su periodo de retorno de inversión es de tan solo 3.6 meses.
- El balance de masa y energía en estado actual determinó que el rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14%, las eficiencias de las calderas acuotubulares 01 y 02 son 61.9% y 62% respectivamente.
- Para que se genere 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss se necesitará un flujo másico de vapor de 17.853 Kg/s, para lo cual las calderas acuotubulares 01 y 02 deberán generar para satisfacer la demanda de vapor sobrecalentado 11.723 Kg/s y 11.348 Kg/s respectivamente y esto a su vez indicará un mayor consumo de combustible en cada una de ellas a 6.337 Kg/s y 6.121 Kg/s.
- El flujo másico de agua de condensación que necesita el condensador industrial de la turbina Escher Wyss para condensar los 17.853 Kg/s de vapor saturado es 718.122 kg/s de agua, para esto se necesita un calor útil de 39029.925 KW y por parte del condensador y 39186.948 KW en caso de la torre de enfriamiento, lo cual garantiza que el proceso de condensación se realice a plenitud.
- El flujo másico de vapor que circulara por las tuberías para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es 3.12 veces mayor que la que circula actualmente. Es por esto que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado, los cuales constan del redimensionamiento de las tuberías ASTM A 192 sin costura para el caso de vapor sobrecalentado y ASTM A53 para vapor y líquido saturado sin variar la geometría de la instalación, además del cálculo de aislamiento térmico para cada tramo, perfiles estructurales que soportaran las tuberías, pernos, placas base, cimientos, juntas, válvulas compuerta y soldadura.
- El condensador industrial a fabricar será de tipo carcasa y tubos, con una capacidad de 48787.406 KW, una longitud de 5.41 m, diámetro de 2.64 m, material ASTM A53, de un solo paso, flujo a contracorriente, con una sección de intercambio de calor de 693.332 m² y con un diámetro del serpentín de 2 pulgadas, el cual será fabricado por la misma empresa; mientras que la torre de enfriamiento seleccionada será una

SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 que cuenta con una capacidad nominal de 50938 KW. Ambos equipos fueron diseñados considerando un factor de seguridad de 1.25.

- El flujo másico de agua de refrigeración que circulara para condensar los 17.853 kg/s de vapor es 721.011 kg/s entregados por la torre de enfriamiento y el flujo de agua de reposición que necesitará la misma es de 7.469 Kg/s. Esto es debido a que el flujo másico de agua incrementó, por lo que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de líquido saturado sin variar la geometría de distribución de los equipos, para el cual se empleó tuberías ASTM A53, se seleccionó 3 bombas centrifugas de 200 HP que trabajaran en paralelo para distribuir el agua de refrigeración y 1 bomba centrifuga de 1.5 HP para el sistema de agua de reposición, también se seleccionó 3 motores para las bombas en paralelo de una capacidad de 250 HP y 1 motor de 2 HP para la red de agua de reposición, cálculo de cimientos y soldadura
- Se tuvo que dimensionar nuevamente los conductores de baja y media tensión debido a que no soportaran el incremento de la producción de energía eléctrica de 3.1 MW a 6.5MW.
- Del análisis económico y financiero se obtuvo un ROI de 3.6 meses, con un beneficio útil de 829657.102 US\$/año y una inversión de 218316.823 US\$, además de un VAN de 4'667,726.00 US\$ y un TIR de 380 %.

VI. RECOMENDACIONES

- Se debe hacer un mantenimiento periódicamente a la torre de enfriamiento debido a que el agua que utiliza de reposición es bombeada desde el subsuelo y puede que existan impurezas que ocasionen daños a las bombas centrífugas instaladas.
- Se recomienda programar capacitaciones periódicamente al personal de trabajo técnicamente para poder conocer más acerca de los beneficios que se obtienen con la instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento.
- Es recomendable instalar un turbogenerador a contrapresión para generar energía eléctrica y calor útil, para así aprovechar al máximo el flujo de vapor de las calderas.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÀFICA.

- Carías, A. (2010). *Análisis Termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de Torre de Enfriamiento, en el área de cogeneración, Ingenio Tululá* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Cengel, Y. y Boles), M. (2011). *Termodinámica*. México, México: McGrawHill.
- Contreras, C (2010). *Evaluación del Sistema de agua de enfriamiento de la unidad de servicios industriales de una planta mejoradora de crudo extrapesado* (tesis de pregrado). Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Venezuela.
- García, S. y Fraile, D. (2008). *Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de Materiales*. México, México: Pearson.
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México, México: Pearson.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México, México: Pearson.
- Oropín, L. (2006). *Cálculo y diseño eléctrico de una cocina industrial y estudio de transferencia de calor en una torre de enfriamiento y su influencia en la eficiencia del ciclo Rankine, en el Ingenio azucarero Santa Ana* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Park, C. (2009). *Fundamentos de la Ingeniería económica*, México, México: Pearson.
- Pascual, M. (2015). *Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.

ANEXOS

ANEXO A.1. Constantes termodinámicas del vapor sobrecalentado

v = volumen específico en (dm³/kg) ; i = entalpía específica en (kJ/kg) s = entropía específica en (kJ/kg^oK)

T(°C)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
-------	---	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

p(bar)=0,01 ; Ts= 6,98°C

v)	1,0002	149097	172192	195277	218357	241436	264514	287591	310661	333737	356813	379889	402965	426041	449117
i)	0	2595	2689	2784	2880	2978	3077	3178	3280	3384	3489	3597	3706	3816	3929
s)	0	9,241	9,512	9,751	9,966	10,163	10,344	10,512	10,67	10,819	10,96	11,094	11,223	11,346	11,465

p(bar)=0,1 ; Ts= 45,83°C

v)	1,0002	14870	17198	19514	21826	24136	26446	28755	31063	33371	35679	37988	40296	42603	44911
i)	0	2592	2688	2783	2880	2977	3077	3177	3280	3384	3489	3597	3706	3816	3929
s)	0	8,173	8,447	8,688	8,903	9,1	9,281	9,449	9,607	9,756	9,897	10,032	10,16	10,284	10,402

p(bar)=0,5 ; Ts= 81,35°C

v)	1,0002	1,0121	3420	3890	4356	4821	5284	5747	6209	6672	7134	7596	8058	8519	8981
i)	0	209,3	2683	2780	2878	2976	3076	3177	3279	3383	3489	3596	3705	3816	3929
s)	0	0,703	7,694	7,94	8,158	8,355	8,537	8,705	8,864	9,013	9,154	9,289	9,417	9,541	9,659

p(bar) 1 ; Ts= 99,63°C

v)	1,0001	1,0121	1696	1937	2173	2406	2639	2871	3103	3334	3565	3797	4028	4259	4490
i)	0,1	209,3	2676	2777	2876	2975	3075	3176	3278	3382	3488	3596	3705	3816	3928
s)	0	0,703	7,36	7,614	7,834	8,033	8,215	8,384	8,543	8,692	8,834	8,968	9,097	9,22	9,339

p(bar)=1,5 ; Ts= 111,4°C

v)	1,0001	1,012	1,0434	1286	1445	1601	1757	1912	2067	2222	2376	2530	2685	2839	2993
i)	0,1	209,4	419,2	2773	2873	2973	3073	3175	3277	3382	3488	3595	3704	3815	3928
s)	0	0,703	1,307	7,42	7,643	7,843	8,027	8,196	8,355	8,504	8,646	8,781	8,909	9,033	9,152

p(bar)=2,0 ; Ts= 120,23°C

v)	1,0001	1,012	1,0434	960,2	1081	1199	1316	1433	1549	1665	1781	1897	2013	2129	2244
i)	0,2	209,4	419,3	2770	2871	2971	3072	3174	3277	3381	3487	3595	3704	3815	3928
s)	0	0,703	1,307	7,28	7,507	7,708	7,892	8,062	8,221	8,371	8,513	8,648	8,776	8,9	9,019

p(bar)=2,5 ; Ts= 127,40°C

v)	1,0001	1,012	1,0433	764,7	862,3	957,5	1052	1145	1239	1332	1424	1517	1610	1703	1795
i)	0,2	209,5	419,3	2766	2869	2970	3071	3173	3276	3380	3487	3594	3704	3815	3927
s)	0	0,703	1,307	7,17	7,4	7,603	7,788	7,958	8,117	8,267	8,409	8,544	8,673	8,797	8,916

p(bar)=3,0 ; Ts= 133,54°C

v)	1	1,012	1,0433	634,2	716,6	796,5	875,4	953,4	1031	1109	1187	1264	1341	1419	1496
i)	0,3	209,5	419,4	2762	2867	2968	3070	3172	3275	3380	3486	3594	3703	3814	3927
s)	0	0,703	1,307	7,078	7,312	7,517	7,702	7,873	8,032	8,182	8,324	8,46	8,589	8,712	8,831

p(bar)=4,0 ; Ts= 143,63°C

v)	1	1,0119	1,0433	471	534,5	595,3	654,9	713,9	772,5	831,1	889,3	947,4	1005	1063	1121
i)	0,4	209,6	419,4	2753	2862	2965	3067	3170	3274	3378	3485	3593	3703	3814	3927
s)	0	0,703	1,307	6,929	7,172	7,379	7,566	7,738	7,898	8,048	8,226	8,326	8,455	8,579	8,698

p(bar)=5,0 ; Ts= 151,85°C

v)	0,9999	1,0119	1,0432	1,0905	425,2	474,5	522,6	570,1	617,2	664,1	710,8	757,5	804	850,4	896,9
i)	0,5	209,7	419,4	632,2	2857	2962	3065	3168	3272	3377	3484	3592	3702	3813	3926
s)	0	0,703	1,307	1,842	7,06	7,271	7,46	7,633	7,793	7,944	8,087	8,222	8,351	8,475	8,595

p(bar)=6,0 ; Ts= 158,84°C

v)	0,9999	1,0118	1,0432	1,0905	352,2	394	434,4	474,3	513,6	552,8	591,9	630,8	669,7	708,4	747,1
i)	0,6	209,8	419,4	632,2	2851	2958	3062	3166	3270	3376	3483	3591	3701	3812	3925
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,968	7,182	7,373	7,546	7,707	7,858	8,001	8,131	8,267	8,391	8,51

p(bar)=7,0 ; Ts= 164,96°C

v)	0,999	1,0118	1,0431	1,0904	300,1	336,4	371,4	405,8	439,7	473,4	503,9	540,4	573,7	607	640,7
i)	0,7	209,9	419,5	632,3	2846	2955	3060	3164	3269	3374	3482	3590	3700	3812	3925
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,888	7,106	7,298	7,473	7,634	7,786	7,929	8,065	8,195	8,319	8,438

p(bar)=8,0 ; Ts= 170,41°C

v)	0,9998	1,0118	1,0431	1,0903	261	293,3	324,2	354,4	384,2	413,8	443,2	472,5	501,8	530,9	560
i)	0,8	209,9	419,6	632,3	2840	2951	3057	3162	3267	3373	3481	3589	3699	3811	3924
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,817	7,04	7,233	7,409	7,571	7,723	7,866	8,003	8,132	8,257	8,376

p(bar)=9,0 ; Ts= 175,36°C

v)	0,9997	1,0117	1,043	1,0903	230,5	259,7	287,4	314,4	341	367,4	393,7	419,8	445,8	471,7	497,6
i)	0,9	210	419,7	632,4	2835	2948	3055	3160	3266	3372	3480	3588	3699	3810	3924
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,753	6,98	7,176	7,352	7,515	7,667	7,811	7,948	8,077	8,202	8,321

p(bar) 10 ; Ts= 179,9°

v)	0,9997	1,0117	1,043	1,0902	206,1	232,8	258	282,5	306,5	330,3	354	377,6	401	424,4	447,7
i)	1	210,1	419,7	632,5	2829	2944	3052	3158	3264	3370	3478	3587	3698	3810	3923
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,695	6,926	7,124	7,301	7,464	7,617	7,761	7,898	8,028	8,153	8,272

T(°C)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
p(bar) = 11,0 ; Ts= 184,06 °C															
v)	0,9996	1,0116	1,0429	1,0901	186,1	210,8	233,9	256,3	278,2	300	321,6	343	364,4	385,7	406,9
i)	1,1	210,2	419,8	632,5	2823	2940	3050	3156	3262	3369	3477	3587	3697	3809	3922
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,64	6,877	7,076	7,255	7,419	7,572	7,716	7,853	7,983	8,108	8,228
p(bar) = 12,0 ; Ts= 187,96 °C															
v)	0,9996	1,0116	1,0429	1,0901	169,4	192,4	213,9	234,5	254,7	274,7	294,5	314,2	333,8	353,4	372,9
i)	1,2	210,3	419,9	632,6	2817	2937	3047	3154	3261	3368	3476	3586	3696	3808	3922
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,59	6,831	7,033	7,212	7,377	7,53	7,675	7,812	7,943	8,067	8,187
p(bar) = 13,0 ; Ts= 191,60 °C															
v)	0,9995	1,0115	1,0428	1,09	155,2	176,9	196,9	216,1	234,8	253,3	271,7	289,9	308,8	326,1	344,1
i)	1,3	210,4	420	632,7	2810	2933	3044	3152	3259	3366	3475	3585	3695	3808	3921
s)	0	0,703	1,306	1,841	6,542	6,788	6,992	7,173	7,338	7,492	7,637	7,774	7,905	8,03	8,15
p(bar) = 14,0 ; Ts= 195,04 °C															
v)	0,9995	1,0115	1,0428	1,0899	143	163,6	182,3	200,3	217,7	235,1	252,1	269	285,9	302,7	319,4
i)	1,4	210,5	420	632,7	2803	2929	3042	3150	3257	3365	3474	3584	3695	3807	3921
s)	0	0,7031	1,3061	1,841	6,496	6,749	6,955	7,137	7,302	7,456	7,602	7,739	7,87	7,995	8,115
p(bar) = 15,0 ; Ts= 198,28 °C															
v)	0,9994	1,0114	1,0427	1,0899	132,4	152	169,7	186,5	202,9	219,1	235,1	250,9	266,7	282,4	298
i)	1,5	210,5	420,1	632,8	2796	2925	3039	3148	3256	3364	3473	3583	3694	3806	3920
s)	0	0,703	1,306	1,84	6,452	6,711	6,919	7,102	7,268	7,423	7,569	7,707	7,838	7,963	8,03
p(bar) = 16,0 ; Ts= 201,37 °C															
v)	0,9994	1,0114	1,0426	1,0898	1,1565	141,9	158,6	174,6	190	205,2	220,2	235,1	249,9	264,6	279,3
i)	1,6	210,6	420,2	632,8	852,4	2921	3036	3146	3254	3362	3472	3582	3693	3805	3919
s)	0	0,703	1,306	1,84	2,331	6,675	6,886	7,07	7,237	7,392	7,538	7,676	7,807	7,932	8,053
p(bar) = 17,0 ; Ts= 204,30 °C															
v)	0,9993	1,0114	1,0114	1,0898	1,0426	133	148,9	164	178,5	192,9	207,1	221,1	235,1	249	262,8
i)	1,7	210,7	420,3	632,9	852,4	2917	3033	3144	3252	3361	3471	3581	3692	3805	3919
s)	0	0,703	1,306	1,84	2,33	6,641	6,854	7,04	7,207	7,362	7,509	7,647	7,778	7,904	8,024
p(bar) = 18,0 ; Ts= 207,10 °C															
v)	0,9993	1,0113	1,0425	1,087	1,1563	125	140,2	154,6	168,4	182	195,4	208,7	221,9	235	248,1
i)	1,8	210,8	420,3	633	852,5	2913	3031	3142	3251	3360	3470	3580	3691	3804	3918
s)	0	0,703	1,306	1,84	2,33	6,61	6,824	7,011	7,179	7,335	7,482	7,62	7,751	7,862	7,98
p(bar) = 19,0 ; Ts= 209,79 °C															
v)	0,9992	1,0113	1,0425	1,0896	1,1562	117,9	132,5	146,1	159,3	172,2	185	197,6	210,1	222,6	235
i)	1,9	210,9	420,4	633	852,8	2909	3028	3140	3249	3358	3468	3579	3691	3803	3918
s)	0	0,703	1,305	1,84	2,33	6,578	6,795	6,983	7,152	7,308	7,456	7,594	7,726	7,851	7,972
p(bar) = 20,0 ; Ts= 212,37 °C															
v)	0,9992	1,0112	1,0424	1,0896	1,1561	111,5	125,5	138,6	151,1	163,4	175,6	187,6	199,8	211,4	223,2
i)	2	211	420,5	633,1	852,6	2904	3025	3138	3248	3357	3467	3578	3690	3803	3917
s)	0	0,703	1,305	1,84	2,33	6,547	6,768	6,957	7,126	7,283	7,431	7,57	7,701	7,827	7,948
p(bar) = 22,0 ; Ts= 217,24 °C															
v)	0,9991	1,0111	1,0423	1,0894	1,1559	100,4	113,4	125,5	137	148,3	159,4	170,3	181,2	192	202,8
i)	2,2	211,1	420,6	633,2	852,6	2896	3019	3134	3244	3354	3465	3576	3688	3801	3916
s)	0	0,703	1,305	1,840	2,33	6,49	6,716	6,908	7,079	7,236	7,385	7,524	7,656	7,782	7,903
p(bar) = 24,0 ; Ts= 221,78 °C															
v)	0,999	1,011	1,0422	1,0893	1,1557	91,13	103,3	114,5	125,2	135,6	145,8	155,9	165,9	175,9	185,7
i)	2,4	211,3	420,8	635,3	852,7	2887	3014	3130	3241	3352	3463	3574	3687	3800	3915
s)	0	0,703	1,305	1,84	2,329	6,437	6,669	6,863	7,035	7,194	7,342	7,482	7,615	7,741	7,862
p(bar) = 26,0 ; Ts= 226,00 °C															
v)	0,9988	1,0110	1,0421	1,0892	1,1555	83,26	94,82	105,3	115,2	124,9	134,4	143,8	153	162,2	171,3
i)	2,6	211,5	420,9	633,5	852,8	2877	3008	3125	3238	3349	3461	3573	3685	3799	3913
s)	0	0,702	1,305	1,839	2,329	6,25	6,624	6,821	6,994	7,154	7,303	7,443	7,576	7,703	7,824
p(bar) = 28,0 ; Ts= 230,00 °C															
v)	0,9987	1,0109	1,042	1,0891	1,1553	76,49	87,5	97,38	106,7	115,7	124,6	133,3	142	150,5	159
i)	2,8	211,7	421,1	633,6	852,9	2868	3002	3121	3234	3346	3458	3571	3683	3797	3912
s)	0	0,702	1,305	1,839	2,329	6,385	6,581	6,781	6,956	7,117	7,267	7,408	7,541	7,667	7,789
p(bar) = 30,0 ; Ts= 233,84 °C															
v)	0,9986	1,0108	1,0419	1,0889	1,1551	70,61	81,15	90,51	99,28	107,8	116,1	124,3	132,4	140,4	148,3
i)	3	211,8	421,2	633,7	852,9	2858	2995	3117	3231	3343	3456	3569	3682	3796	3911
s)	0	0,702	1,305	1,839	2,328	6,289	6,541	6,744	6,921	7,082	7,233	7,374	7,507	7,634	7,756

T(°C)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
p(bar)= 32 ; Ts= 237,4°C															
v)	0,9985	1,0107	1,0418	1,0888	1,1549	75,43	78,59	84,49	92,8	100,8	108,7	116,41	124	131,5	139
i)	3,2	212	421,4	633,8	853	2847	2989	3112	3227	3341	3454	3567	3680	3794	3910
s)	0	0,702	1,305	1,839	2,328	5,243	6,503	6,709	6,887	7,05	7,201	7,343	7,476	7,603	7,725
p(bar)= 34 ; Ts= 240,9°C															
v)	0,9984	1,0106	1,0417	1,0887	1,1547	60,84	70,67	79,18	87,08	94,69	102,1	109,4	116,6	123,7	130,7
i)	3,4	212,2	421,5	634	853,1	2836	2983	3108	3224	3328	3451	3565	3679	3793	3909
s)	0	0,702	1,304	1,838	2,328	6,198	6,466	6,675	6,855	7,019	7,171	7,313	7,447	7,574	7,696
p(bar)= 36 ; Ts= 244,2°C															
v)	0,9983	1,0105	1,0416	1,0885	1,1545	56,73	66,3	74,46	81,99	89,23	96,27	103,2	110,1	116,7	123,4
i)	3,6	212,3	421,7	634,1	853,2	2825	2976	3103	3221	3335	3449	3563	3677	3792	3907
s)	0	0,702	1,304	1,838	2,327	6,154	6,431	6,644	6,825	6,99	7,142	7,285	7,419	7,547	7,669
p(bar)= 38 ; Ts= 247,3°C															
v)	0,9982	1,0104	1,0415	1,0884	1,1543	53,03	62,37	70,23	77,44	81,35	91,05	97,61	104,1	110,5	116,8
i)	3,8	212,5	421,8	634,2	853,3	2813	2970	3099	3217	3332	3447	3561	3675	3790	3906
s)	0	0,702	1,304	1,838	2,327	6,11	6,397	6,613	6,796	6,962	7,115	7,258	7,393	7,521	7,643
p(bar)= 40 ; Ts= 250,33°C															
v)	0,9981	1,0103	1,0414	1,0883	1,1541	1,2511	58,84	66,42	73,34	79,95	86,35	92,61	98,77	104,9	110,9
i)	4	212,7	422	634,3	853,4	1085,8	2963	3094	3214	3330	3445	3559	3674	3789	3905
s)	0	0,702	1,304	1,838	2,327	2,793	6,364	6,584	6,769	6,935	7,089	7,233	7,368	7,496	7,618
p(bar)= 44 ; Ts= 256,0°C															
v)	0,9979	1,0102	1,0412	1,0881	1,1537	1,2503	52,71	59,84	66,26	72,35	78,24	83,98	89,61	95,18	100,7
i)	4,4	213	422,3	634,6	853,6	1085,8	2949	3085	3207	3324	3440	3555	3671	3786	3902
s)	0	0,702	1,304	1,837	2,326	2,792	6,301	6,528	6,717	6,886	7,04	7,185	7,321	7,449	7,572
p(bar)= 48 ; Ts= 261,4°C															
v)	0,9977	1,01	1,041	1,0878	1,1533	1,2496	47,58	54,34	60,36	66,02	71,47	76,78	81,98	87,11	92,18
i)	4,8	213,4	422,6	634,8	853,7	1085,7	2935	3075	3199	3319	3435	3552	3667	3783	3900
s)	0	0,701	1,303	1,837	2,326	2,791	6,241	6,476	6,669	6,84	6,996	7,141	7,278	7,407	7,53
p(bar)= 52 ; Ts= 266,4°C															
v)	0,9975	1,0098	1,0408	1,0876	1,1529	1,2489	43,22	49,68	55,35	60,66	65,75	70,69	75,52	80,28	84,98
i)	5,2	213,7	422,9	635,1	853,9	1085,7	2919	3065	3192	3313	3431	3548	3664	3780	3898
s)	0	0,701	1,303	1,836	2,325	2,79	6,183	6,427	6,624	6,797	6,954	7,101	7,238	7,368	7,491
p(bar)= 56 ; Ts= 271,1°C															
v)	0,9973	1,0096	1,0406	1,0873	1,1525	1,2481	39,45	45,68	51,06	56,07	60,84	65,47	69,98	74,43	78,81
i)	5,6	214,1	423,2	635,3	854,1	1085,7	2904	3055	3185	3307	3426	3544	3661	3778	3895
s)	0	0,701	1,303	1,836	2,324	2,789	6,126	6,38	6,581	6,757	6,916	7,063	7,201	7,331	7,455
p(bar)= 60 ; Ts= 275,56°C															
v)	0,9971	1,0095	1,0404	1,0871	1,1522	1,2474	36,16	42,2	47,34	52,08	56,59	60,94	65,19	69,35	73,47
i)	6	214,4	423,5	635,6	854,2	1085,7	2887	3045	3177	3301	3421	3540	3657	3775	3893
s)	0	0,701	1,302	1,836	2,324	2,788	6,071	6,336	6,541	6,719	6,879	7,028	7,166	7,297	7,421
p(bar)= 64 ; Ts= 279,8°C															
v)	0,9969	1,0093	1,0402	1,0869	1,1518	1,2467	33,25	39,16	44,08	48,6	52,87	56,98	60,99	64,92	68,79
i)	6,5	214,8	423,8	635,8	854,4	1085,7	2869	3034	3170	3296	3417	3536	3654	3772	3890
s)	0	0,701	1,302	1,835	2,323	2,788	6,016	6,293	6,502	6,683	6,845	6,995	7,134	7,265	7,39
p(bar)= 68 ; Ts= 283,8°C															
v)	0,9967	1,0091	1,04	1,0866	1,1514	1,246	30,65	36,46	41,21	45,52	49,58	53,49	57,28	61	64,66
i)	6,9	215,1	424,1	636,1	854,6	1085,7	2851	3024	3162	3290	3412	3532	3651	3769	3888
s)	0	0,7	1,302	1,835	2,323	2,787	5,961	6,251	6,466	6,649	6,812	6,963	7,103	7,235	7,36
p(bar)= 72 ; Ts= 287,7°C															
v)	0,9965	1,0089	1,0398	1,0864	1,151	1,2453	28,31	34,05	38,64	42,78	46,66	50,38	53,99	57,22	60,99
i)	7,3	215,4	424,4	636,3	854,7	1085,7	2831	3013	3154	3284	3407	3528	3648	3766	3885
s)	0	0,7	1,301	1,834	2,322	2,786	5,906	6,211	6,431	6,616	6,781	6,933	7,074	7,206	7,331
p(bar)= 76 ; Ts= 291,4°C															
v)	0,9963	1,0088	1,0396	1,0861	1,1506	1,2446	26,18	31,89	36,35	40,33	44,05	47,6	51,04	54,41	57,71
i)	7,7	215,8	424,7	636,6	854,9	1085,7	2810	3001	3147	3278	3402	3524	3644	3764	3883
s)	0	0,7	1,301	1,834	2,321	2,785	5,85	6,171	6,397	6,585	6,751	6,904	7,046	7,179	7,305
p(bar)= 80 ; Ts= 295,0°C															
v)	0,9961	1,0056	1,0394	1,0859	1,1502	1,2439	24,23	29,94	34,29	38,12	41,7	45,1	48,39	51,6	54,76
i)	8,1	216,1	425	636,8	855,1	1085,7	2787	2990	3139	3272	3398	3520	3641	3761	3881
s)	0	0,7	1,301	1,833	2,321	2,784	5,793	6,133	6,364	6,555	6,723	6,877	7,019	7,153	7,279
p(bar)= 84 ; Ts= 298,4°C															
v)	0,9959	1,0084	1,0392	1,0856	1,1498	1,2432	22,43	28,16	32,41	36,12	39,57	42,84	45,99	49,07	52,08
i)	8,5	216,5	425,3	637,1	855,3	1085,7	2763	2977	3131	3266	3393	3516	3638	3758	3878
s)	0	0,7	1,301	1,833	2,32	2,783	5,734	6,095	6,332	6,526	6,696	6,851	6,994	7,128	7,254

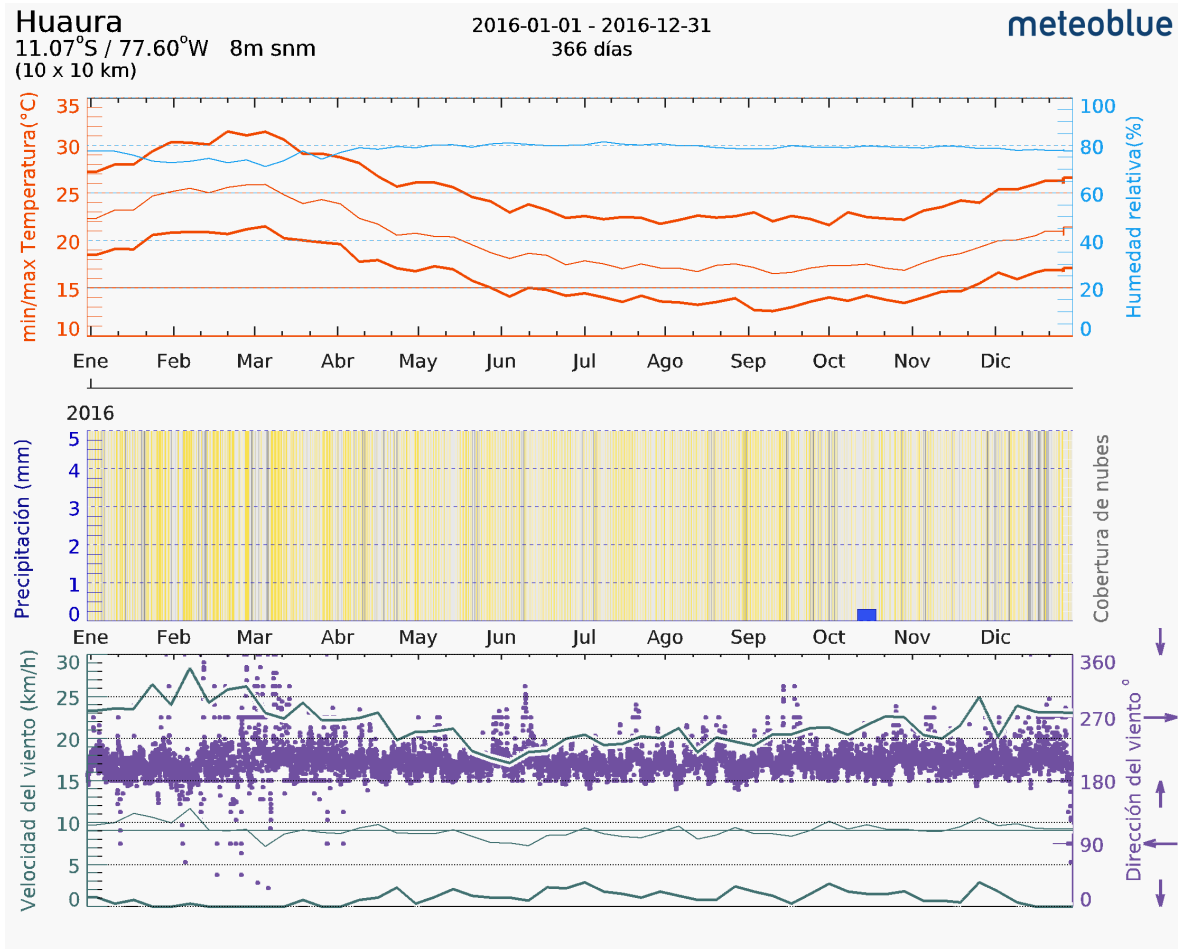
ANEXO A.2. Constantes termodinámicas de líquido y vapor saturado

Presión sat	Temp. sat.	Volumen	Volumen	Entalpía	Entalpía	Entalpía	Entropía	Entropía	Entropía
bars	°C	v' (dm ³ /Kg)	v'' (dm ³ /Kg)	i' (kJ/Kg)	i'' (kJ/Kg)	i _(l-v) (kJ/Kg)	s' (kJ/Kg.°K)	s'' (kJ/Kg.°K)	Δs (kJ/Kg.°K)
0,0061	0,00	1,0002	206288,00	0,0	2500,8	2500,8	0,000	9,155	9,155
0,0061	1,00	1,0002	206146,00	0,0	2500,8	2500,8	0,000	9,155	9,155
0,0070	2,00	1,0001	179907,00	8,4	2496,0	2487,6	0,031	9,102	9,071
0,0081	4,00	1,0001	157258,00	16,8	2508,1	2491,3	0,061	9,050	8,989
0,0094	6,00	1,0001	137768,00	25,2	2511,8	2486,6	0,091	8,999	8,908
0,0100	7,00	1,0001	129205,00	29,3	2513,6	2484,3	0,106	8,974	8,868
0,0107	8,00	1,0002	120956,00	33,6	2515,5	2481,9	0,121	8,949	8,828
0,0123	10,00	1,0003	106422,00	42,0	2519,2	2477,2	0,151	8,900	8,749
0,0140	12,00	1,0006	93829,00	50,4	2522,9	2472,5	0,180	8,851	8,671
0,0160	14,00	1,0008	82894,00	58,8	2526,5	2467,8	0,210	8,804	8,594
0,0182	16,00	1,0011	73380,00	67,1	2530,3	2463,1	0,239	8,757	8,518
0,0206	18,00	1,0014	65084,00	75,5	2533,9	2458,4	0,268	8,711	8,444
0,0234	20,00	1,0018	57836,00	83,4	2537,6	2453,7	0,296	8,666	8,370
0,0250	21,00	1,0021	54260,00	88,4	2539,5	2451,1	0,312	8,642	8,330
0,0264	22,00	1,0023	51491,00	92,2	2541,2	2449,0	0,325	8,622	8,297
0,0298	24,00	1,0028	45925,00	100,6	2544,8	2444,2	0,353	8,579	8,226
0,0336	26,00	1,0033	41034,00	109,0	2548,5	2439,5	0,381	8,536	8,155
0,0378	28,00	1,0038	36727,00	117,3	2552,1	2434,8	0,409	8,494	8,085
0,0424	30,00	1,0044	32929,00	125,7	2555,7	2430,0	0,436	8,452	8,016
0,0475	32,00	1,0050	29573,00	134,0	2559,3	2425,3	0,464	8,412	7,948
0,0500	33,00	1,0053	28196,00	137,8	2560,9	2423,1	0,476	8,394	7,918
0,0532	34,00	1,0057	26601,00	142,4	2562,9	2420,5	0,491	8,372	7,881
0,0594	36,00	1,0064	23967,00	150,7	2566,5	2415,8	0,518	8,333	7,814
0,0662	38,00	1,0071	21628,00	159,1	2570,1	2411,0	0,545	8,294	7,749
0,0737	40,00	1,0079	19546,00	167,4	2573,7	2406,2	0,572	8,256	7,684
0,0750	40,32	1,0080	19239,00	168,8	2574,2	2405,5	0,576	8,250	7,674
0,0819	42,00	1,0087	17691,00	175,8	2577,2	2401,4	0,599	8,219	7,620
0,0910	44,00	1,0095	16035,00	184,2	2580,8	2396,6	0,625	8,182	7,557
0,1000	45,83	1,0103	14673,00	191,8	2584,1	2392,2	0,649	8,149	7,499
0,1008	46,00	1,0103	14556,00	192,5	2584,3	2391,8	0,651	8,146	7,494
0,1116	48,00	1,0112	13232,00	200,9	2587,9	2387,0	0,678	8,110	7,433
0,1233	50,00	1,0121	12045,00	209,3	2591,4	2382,2	0,704	8,075	7,372
0,1361	52,00	1,0130	10979,00	217,6	2595,0	2377,3	0,729	8,041	7,312
0,1500	54,00	1,0140	10021,00	226,0	2598,5	2372,5	0,755	8,007	7,252
0,1651	56,00	1,0150	9157,80	234,3	2602,0	2367,7	0,780	7,974	7,193
0,1815	58,00	1,0160	8379,90	242,7	2605,5	2362,8	0,806	7,941	7,135
0,1992	60,00	1,0170	7677,60	251,1	2609,0	2357,9	0,831	7,909	7,078
0,2000	60,09	1,0171	7648,40	251,5	2609,1	2357,7	0,832	7,907	7,075
0,2184	62,00	1,0182	7042,80	259,5	2612,5	2353,0	0,856	7,877	7,021
0,2391	64,00	1,0193	6468,20	267,8	2615,9	2348,1	0,881	7,845	6,965
0,2500	65,00	1,0199	6203,20	272,0	2617,6	2345,7	0,893	7,830	6,937
0,2615	66,00	1,0205	5947,30	276,2	2619,4	2343,2	0,906	7,815	6,909
0,2856	68,00	1,0216	5474,70	284,6	2622,8	2338,2	0,930	7,784	6,854
0,3000	69,13	1,0223	5228,10	289,3	2624,8	2335,4	0,944	7,767	6,823
0,3116	70,00	1,0228	5045,30	293,0	2626,3	2333,3	0,955	7,754	6,800
0,3396	72,00	1,0240	4654,70	301,4	2629,7	2328,3	0,979	7,725	6,746
0,3500	72,71	1,0244	4524,60	304,3	2630,9	2326,5	0,988	7,715	6,727
0,3696	74,00	1,0252	4299,10	309,7	2633,1	2323,3	1,003	7,696	6,693
0,4000	75,89	1,0264	3992,40	317,6	2636,3	2318,6	1,026	7,669	6,643
0,4019	76,00	1,0264	3974,80	318,1	2636,5	2318,3	1,027	7,667	6,640
0,4365	78,00	1,0277	3678,80	326,5	2639,8	2313,3	1,051	7,639	6,588
0,4736	80,00	1,0290	3408,30	334,9	2643,2	2308,3	1,075	7,611	6,536
0,5000	81,35	1,0299	3239,40	340,6	2645,4	2304,9	1,091	7,593	6,502
0,5133	82,00	1,0303	3160,90	343,3	2646,5	2303,2	1,099	7,584	6,485
0,5573	84,00	1,0317	2934,30	351,7	2649,9	2298,1	1,123	7,557	6,435
0,6000	85,95	1,0331	2731,20	359,9	2653,1	2293,2	1,145	7,531	6,386

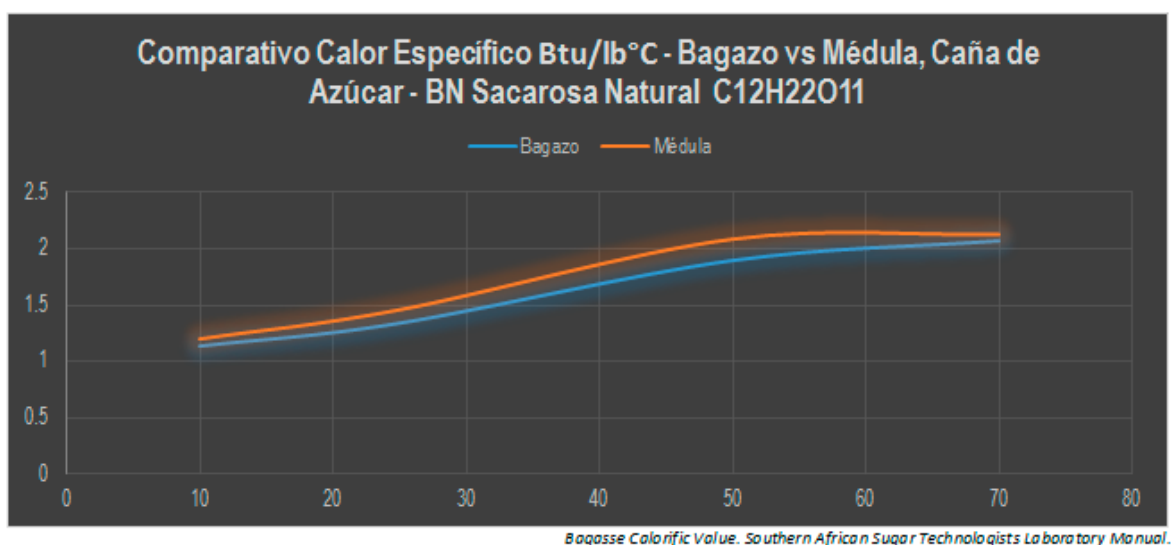
0,6011	86,00	1,0331	2726,60	360,1	2653,2	2293,0	1,146	7,531	6,385
0,6495	88,00	1,0345	2536,00	368,5	2656,5	2287,9	1,169	7,504	6,335
0,7000	89,96	1,0359	2364,30	376,8	2659,7	2282,9	1,192	7,478	6,287
0,7011	90,00	1,0359	2360,90	376,9	2659,7	2282,8	1,1925	7,478	6,285
0,7561	92,00	1,0374	2199,90	385,4	2663,0	2277,6	1,216	7,453	6,237
0,8000	93,51	1,0385	2086,80	391,7	2665,4	2273,7	1,233	7,434	6,201
0,8146	94,00	1,0388	2051,80	393,8	2666,2	2272,4	1,239	7,428	6,189
0,8769	96,00	1,0404	1915,20	402,2	2669,4	2267,2	1,262	7,403	6,142
0,9000	96,71	1,0409	1869,10	405,2	2670,6	2265,4	1,270	7,394	6,125
0,9430	98,00	1,0419	1789,30	410,6	2672,6	2262,0	1,284	7,379	6,095
1,0000	99,63	1,0432	1693,70	417,5	2675,2	2257,7	1,303	7,359	6,056
1,0132	100,00	1,0435	1673,00	419,1	2675,8	2256,7	1,308	7,355	6,048
1,2000	104,81	1,0472	1428,20	439,4	2683,3	2244,0	1,361	7,298	5,937
1,2080	105,00	1,0474	1419,40	440,2	2683,6	2243,5	1,363	7,296	5,933
1,4000	109,32	1,0509	1236,50	458,4	2690,3	2231,9	1,411	7,246	5,835
1,4326	110,00	1,0515	1210,10	461,3	2691,3	2230,0	1,419	7,239	5,820
1,6000	113,32	1,0543	1091,30	475,4	2696,4	2221,0	1,455	7,202	5,747
1,6905	115,00	1,0558	1036,50	482,5	2698,9	2216,4	1,473	7,183	5,710
1,8000	116,93	1,0575	977,39	490,7	2701,8	2211,1	1,494	7,163	5,668
1,9853	120,00	1,0603	891,71	503,7	2706,3	2202,5	1,528	7,130	5,602
2,0000	120,23	1,0605	885,59	504,7	2706,6	2201,9	1,530	7,127	5,597
2,2000	123,27	1,0633	809,99	517,6	2711,0	2193,4	1,563	7,096	5,533
2,3209	125,00	1,0649	770,43	525,0	2713,5	2188,5	1,581	7,078	5,497
2,4000	126,09	1,0659	746,60	529,6	2715,0	2185,4	1,593	7,067	5,474
2,6000	128,73	1,0685	692,66	540,9	2718,7	2177,8	1,621	7,040	5,419
2,7012	130,00	1,0697	668,32	546,3	2720,5	2174,2	1,634	7,027	5,393
2,8000	131,21	1,0709	646,19	551,5	2722,2	2170,7	1,647	7,015	5,368
3,0000	133,54	1,0732	605,72	561,4	2725,4	2163,9	1,672	6,992	5,321
3,1305	135,00	1,0747	582,00	567,7	2727,3	2159,7	1,687	6,978	5,291
3,5000	138,88	1,0786	524,14	584,3	2732,5	2148,2	1,727	6,941	5,214
3,6136	140,00	1,0798	508,66	589,1	2733,9	2144,8	1,739	6,930	5,191
4,0000	143,63	1,0836	462,35	604,7	2738,6	2133,9	1,776	6,897	5,120
4,1549	145,00	1,0851	446,12	610,6	2740,4	2129,8	1,791	6,884	5,093
4,5000	147,92	1,0883	413,86	623,2	2744,0	2120,8	1,820	6,857	5,037
4,7597	150,00	1,0906	392,57	632,2	2746,5	2114,4	1,842	6,838	4,997
5,0000	151,85	1,0926	374,77	640,1	2748,7	2108,6	1,860	6,822	4,962
5,4331	155,00	1,0962	346,65	653,8	2752,5	2098,7	1,892	6,794	4,902
5,5000	155,47	1,0967	342,57	655,8	2753,0	2097,2	1,897	6,790	4,893
6,0000	158,84	1,1007	315,56	670,4	2756,8	2086,4	1,931	6,761	4,830
6,1805	160,00	1,1021	306,85	675,5	2758,1	2082,7	1,942	6,751	4,808
6,5000	161,99	1,1045	292,57	684,1	2760,3	2076,2	1,962	6,734	4,772
7,0000	164,96	1,1080	272,76	697,1	2763,5	2066,4	1,992	6,709	4,717
7,0076	165,00	1,1081	272,48	697,3	2763,5	2066,3	1,993	6,708	4,715
7,5000	167,76	1,1115	255,50	709,3	2766,4	2057,1	2,020	6,685	4,665
7,9203	170,00	1,1144	242,62	719,1	2768,7	2049,6	2,042	6,667	4,625
8,0000	170,41	1,1149	240,32	720,9	2769,1	2048,2	2,046	6,663	4,617
8,5000	172,94	1,1181	226,88	732,0	2771,5	2039,5	2,070	6,643	4,573
8,9247	175,00	1,1208	216,60	741,1	2773,5	2032,4	2,091	6,626	4,535
9,0000	175,36	1,1213	214,87	742,6	2773,8	2031,2	2,094	6,623	4,529
9,5000	177,67	1,1243	204,09	752,8	2776,0	2023,2	2,117	6,604	4,487
10,0271	180,00	1,1275	193,85	763,1	2778,0	2014,9	2,139	6,586	4,446
10,5000	182,01	1,1302	185,51	772,0	2779,8	2007,8	2,159	6,570	4,411
11,0000	184,06	1,1331	177,44	781,1	2781,5	2000,4	2,179	6,554	4,375
11,5000	186,04	1,1359	170,05	789,9	2783,1	1993,2	2,198	6,538	4,340
12,0000	187,96	1,1386	163,25	798,4	2784,6	1986,2	2,216	6,523	4,307
12,5000	189,81	1,1412	156,98	806,7	2786,0	1979,3	2,234	6,508	4,274
13,0000	191,60	1,1438	151,17	814,7	2787,3	1972,6	2,251	6,495	4,244
13,5000	193,34	1,1464	145,79	822,2	2788,5	1966,0	2,268	6,482	4,214
14,0000	195,04	1,1400	140,77	830,0	2789,7	1959,6	2,284	6,469	4,186
14,5000	196,68	1,1514	136,08	837,4	2790,8	1953,4	2,299	6,457	4,158

15,0000	198,28	1,1539	131,70	844,6	2791,8	1917,1	2,314	6,445	4,130
15,5510	200,00	1,1565	127,29	852,4	2792,8	1940,4	2,331	6,431	4,101
16,0000	201,37	1,1586	123,73	858,5	2793,6	1935,1	2,344	6,422	4,078
17,0000	204,30	1,1633	116,66	871,8	2795,2	1923,4	2,371	6,400	4,028
17,2450	205,00	1,1644	115,05	875,0	2795,6	1920,6	2,378	6,394	4,017
18,0000	207,10	1,1678	110,36	884,5	2796,6	1912,1	2,398	6,379	3,981
19,0000	209,79	1,1722	104,69	896,8	2797,8	1901,1	2,423	6,359	3,936
19,0800	210,00	1,1726	104,27	897,7	2797,9	1900,2	2,425	6,358	3,933
20,0000	212,37	1,1766	99,57	908,6	2798,9	1890,4	2,447	6,340	3,893
21,0000	214,85	1,1809	94,93	919,9	2799,8	1879,9	2,470	6,322	3,852
21,0630	215,00	1,1812	94,65	920,6	2799,8	1879,3	2,471	6,321	3,850
22,0000	217,24	1,1851	90,69	930,9	2800,6	1869,7	2,492	6,305	3,813
23,0000	219,55	1,1892	86,80	941,6	2801,3	1859,7	2,514	6,288	3,775
23,2010	220,00	1,1900	86,06	943,7	2801,4	1857,8	2,518	6,285	3,767
24,0000	221,78	1,1932	83,23	951,9	2801,9	1850,0	2,534	6,272	3,738
25,0000	223,94	1,1972	79,94	961,9	2802,3	1840,4	2,554	6,257	3,702
25,5040	225,00	1,1992	78,31	966,9	2802,5	1835,6	2,564	6,249	3,685
27,5000	229,06	1,2069	72,71	985,9	2803,1	1817,2	2,602	6,220	3,618
27,9790	230,00	1,2087	71,47	990,3	2803,2	1812,9	2,610	6,213	3,603
30,0000	233,84	1,2163	66,65	1008,3	2803,4	1795,0	2,645	6,186	3,541
30,6350	235,00	1,2187	65,27	1013,8	2803,4	1789,5	2,656	6,178	3,522
32,5000	238,32	1,2256	61,49	1029,6	2803,2	1773,7	2,687	6,154	3,468
33,4800	240,00	1,2291	59,67	1037,6	2803,1	1765,5	2,702	6,142	3,440
35,0000	242,54	1,2345	57,05	1049,8	2802,7	1753,0	2,725	6,125	3,399
36,5240	245,00	1,2399	54,62	1061,6	2802,2	1740,7	2,748	6,107	3,359
37,5000	246,54	1,2433	53,17	1069,0	2801,9	1732,9	2,762	6,096	3,335
39,7760	250,00	1,2512	50,06	1085,8	2800,9	1715,1	2,793	6,072	3,278
40,0000	250,33	1,2520	49,77	1087,4	2800,8	1713,4	2,797	6,070	3,273
42,5000	253,95	1,2606	46,75	1105,1	2799,4	1694,3	2,830	6,044	3,214
43,2450	255,00	1,2631	45,91	1110,2	2799,0	1688,7	2,839	6,032	3,197
45,0000	257,41	1,2690	44,05	1122,1	2797,8	1675,7	2,861	6,020	3,158
46,9400	260,00	1,2755	42,15	1134,9	2796,4	1661,5	2,885	6,001	3,116
47,5000	260,73	1,2774	41,63	1138,9	2796,0	1657,4	2,892	5,996	3,104
50,0000	263,92	1,2857	39,44	1154,5	2794,0	1639,5	2,921	5,973	3,053
50,8720	265,00	1,2886	38,72	1159,9	2793,3	1633,3	2,931	5,966	3,035
55,0000	269,94	1,3021	35,60	1184,9	2789,5	1604,6	2,976	5,930	2,955
55,0510	270,00	1,3023	35,63	1185,2	2789,4	1604,2	2,976	5,930	2,954
59,4870	275,00	1,3168	32,74	1210,8	2784,9	1574,0	3,022	5,894	2,872
60,0000	275,56	1,3185	32,44	1213,7	2784,3	1570,6	3,027	5,890	2,862
64,1920	280,00	1,3321	30,13	1236,8	2779,6	1542,5	3,068	5,857	2,789
65,0000	280,83	1,3347	29,72	1241,1	2778,6	1537,5	3,076	5,851	2,775
69,1750	285,00	1,3483	27,74	1263,1	2773,4	1510,3	3,114	5,820	2,706
70,0000	285,80	1,3510	27,37	1267,4	2772,3	1500,9	3,122	5,814	2,692
74,4490	290,00	1,3655	25,54	1289,9	2766,3	1476,4	3,161	5,783	2,622
75,0000	290,51	1,3673	25,32	1292,6	2765,6	1472,9	3,166	5,779	2,613
80,0000	294,98	1,3838	23,52	1317,0	2758,3	1441,3	3,207	5,744	2,537
85,0000	299,24	1,4005	21,92	1340,6	2750,7	1410,1	3,248	5,711	2,463
85,9170	300,00	1,4036	21,64	1344,9	2749,2	1404,3	3,255	5,705	2,450
90,0000	303,31	1,4174	20,48	1363,5	2742,5	1379,0	3,286	5,679	2,392
92,1400	305,00	1,4247	19,92	1373,2	2738,9	1365,8	3,302	5,665	2,362
95,0000	307,22	1,4346	19,19	1385,9	2733,9	1348,0	3,324	5,647	2,323
98,7000	310,00	1,4475	18,32	1402,1	2727,2	1325,2	3,351	5,623	2,272
100,0000	310,96	1,4521	18,02	1407,7	2724,8	1317,1	3,360	5,615	2,255
105,6100	315,00	1,4722	16,83	1431,7	2714,1	1282,4	3,400	5,580	2,180
110,0000	318,04	1,4883	15,98	1450,1	2705,5	1255,4	3,430	5,553	2,123
112,9000	320,00	1,4992	15,45	1462,2	2699,6	1237,5	3,449	5,535	2,086
120,0000	324,64	1,5266	14,26	1491,2	2684,7	1193,5	3,496	5,493	1,997
120,5700	325,00	1,5289	14,17	1493,5	2683,5	1190,0	3,500	5,489	1,989
128,6500	330,00	1,5620	12,97	1526,0	2665,5	1139,5	3,552	5,441	1,889
130,0000	330,81	1,5678	12,78	1531,4	2662,3	1131,0	3,561	5,433	1,873

ANEXO A.3. Datos ambientales en la ciudad de Huaura



ANEXO A.4. Gráfico estadístico del calor específico del bagazo de caña



ANEXO A.5. Tabla de propiedades termo-físicas de los gases residuales

T[°C]	ρ $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$	C_p $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}\right]$	$\lambda * 10^2$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}\right]$	$a * 10^2$ $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{h}}\right]$	$\mu * 10^6$ $\left[\frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}\right]$	$\nu * 10^6$ $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}\right]$	Pr —
0	1,295	1,045	2,2794	6,08	15,7842	12,2	0,72
100	0,95	1,0676	3,1284	11,10	20,3949	21,54	0,69
200	0,748	1,0969	4,0123	17,60	24,4955	32,80	0,67
300	0,617	1,1221	4,8380	25,16	28,2331	45,81	0,65
400	0,525	1,1514	5,6987	35,04	31,6863	60,38	0,64
500	0,457	1,1849	6,5593	43,61	43,8549	76,30	0,63
600	0,405	1,2142	7,4199	54,32	37,8666	93,61	0,62
700	0,363	1,2393	8,2689	66,17	40,6918	112,10	0,61
800	0,329	1,2644	9,1528	79,09	43,3798	131,80	0,60
900	0,301	1,2895	10,0134	92,87	45,9108	152,50	0,59
1000	0,275	1,3063	10,8973	109,21	48,3633	174,30	0,58
1110	0,257	1,3230	11,7463	124,37	50,7078	197,10	0,57
1200	0,24	1,3398	12,6185	141,27	52,9936	221,0	0,56

ANEXO A.6. Tabla de propiedades termo-físicas del aire

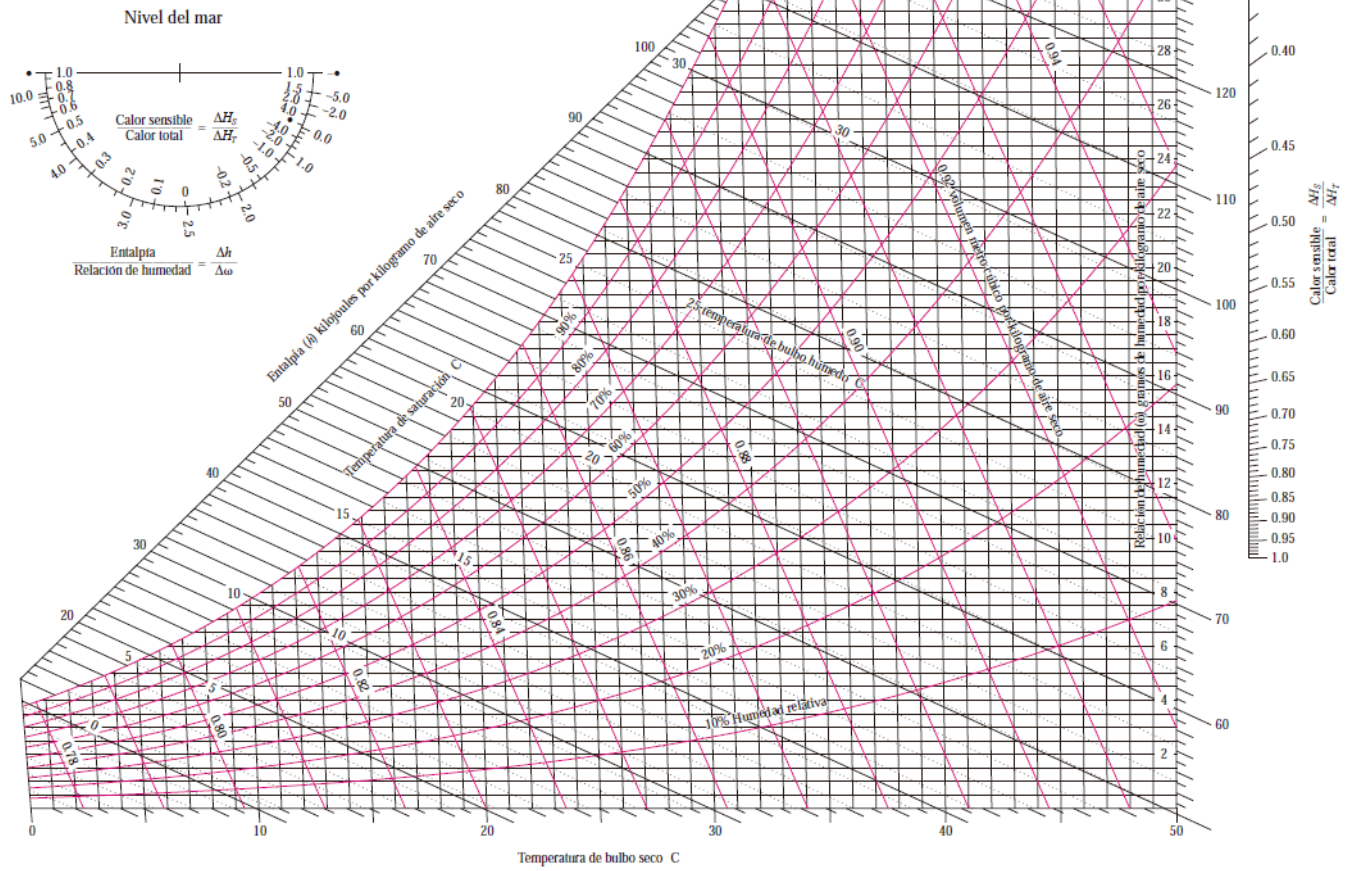
Temperatura °K	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /seg)	Pr
100	3,6010	1,027	0,692	1,92	0,0092	0,0250	0,770
150	2,3675	1,010	1,028	4,34	0,0137	0,0575	0,753
200	1,7684	1,006	1,329	7,49	0,0181	0,1017	0,739
250	1,4128	1,005	1,488	10,53	0,0223	0,1316	0,722
300	1,1774	1,006	1,983	16,84	0,0262	0,2216	0,708
350	0,9980	1,009	2,075	20,76	0,0300	0,2983	0,697
400	0,8826	1,014	2,286	25,90	0,0336	0,3760	0,689
450	0,7833	1,021	2,484	31,71	0,0371	0,4222	0,683
500	0,7048	1,030	2,671	37,90	0,0404	0,5564	0,680
550	0,6423	1,039	2,848	44,34	0,0436	0,6532	0,680
600	0,5879	1,055	3,018	51,34	0,0466	0,7512	0,680
650	0,5430	1,063	3,177	58,51	0,0495	0,8578	0,682
700	0,5030	1,075	3,332	66,25	0,0523	0,9672	0,684
750	0,4709	1,086	3,481	73,91	0,0551	1,0774	0,686
800	0,4405	1,098	3,625	82,29	0,0578	1,1981	0,689
850	0,4149	1,109	3,765	90,75	0,0603	1,3097	0,692
900	0,3925	1,121	3,899	99,30	0,0628	1,4271	0,696
950	0,3716	1,132	4,023	108,20	0,0653	1,5510	0,699
1000	0,3524	1,142	4,152	117,80	0,0675	1,6779	0,702
1100	0,3204	1,160	4,440	138,60	0,0732	1,9690	0,704
1200	0,2947	1,179	4,690	159,10	0,0782	2,2510	0,707
1300	0,2707	1,197	4,930	182,10	0,0837	2,5830	0,705
1400	0,2515	1,214	5,170	205,50	0,0891	2,9200	0,705
1500	0,2355	1,230	5,400	229,10	0,0946	3,2620	0,705
1600	0,2211	1,248	5,630	254,50	0,1000	3,6090	0,705
1700	0,2082	1,267	5,850	280,50	0,1050	3,9770	0,705
1800	0,1970	1,287	6,070	308,10	0,1110	4,3790	0,704
1900	0,1858	1,309	6,290	338,50	0,1170	4,8110	0,704
2000	0,1762	1,338	6,500	369,00	0,1240	5,2600	0,702
2100	0,1682	1,372	6,720	399,60	0,1310	5,7150	0,700
2200	0,1602	1,419	6,930	432,60	0,1390	6,1200	0,707
2300	0,1538	1,482	7,140	464,00	0,1490	6,5400	0,710
2400	0,1458	1,574	7,350	504,00	0,1610	7,0200	0,718
2500	0,1394	1,688	7,570	543,50	0,1750	7,4410	0,730

ANEXO A.7. Tabla de aceite lubricante

Temperatura °C	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p J/Kg°C	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^{10}$ (m ² /seg)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^3$ (N.seg/m ²)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Nº de Prandtl Pr	$\left(\frac{g \beta}{\nu^2} 10^{-10}\right)$
0	899,1	1796	0,147	911	3848	4280	47100	
20	888,2	1880	0,145	872	799	900	10400	8475
40	876,1	1964	0,144	834	210	240	2870	
60	864	2047	0,14	800	72,5	83,9	1050	
80	852	2131	0,138	769	32	37,5	490	
100	840	2219	0,137	738	17,1	20,3	276	
120	829	2307	0,135	710	10,3	12,4	175	
140	816,9	2395	0,133	686	6,54	8	116	
160	805,9	2483	0,132	663	4,51	5,6	84	

ANEXO A.8. Diagrama psicrométrico

1992 American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.



ANEXO A.9. Velocidades de fluidos, según el tipo de servicio.

SERVICIO	VELOCIDAD DEL FLUIDO	
	ft/min	m/s
Líneas de vapor recalentado	6000 -12000	30.5 - 60.9
Colectores de vapor	6000 - 8000	30.5 - 40.6
Líneas ramales de vapor	6000 -15000	30,5 - 76.2
Líneas de alimentación de agua	250 - 850	1.3 - 4.3
Líneas de salida de vapor y de baja presión	6000 -15000	30,5 - 76.2
Líneas de succión de bombas	100 - 300	0.51 - 1.52
Líneas de vapor saturado de baja presión	4000 - 6000	20.3 - 30.5
Líneas principales de servicio de agua	120 - 3000	0.61 - 1.52
Líneas de vapor de vacío	20000 - 40000	101.6 - 203.2
Líneas de petróleo crudo	50 - 350	0.25 - 1.78
Líneas de aire comprimido	1500 - 2000	7.5 -10.2
Tubos de vapor recalentado	2000 - 5000	10.2 - 25.4
Tubos economizadores (agua)	150 - 300	0.76 - 1.52

ANEXO A.10. Tabla de temperaturas máximas de trabajo del ASTM

Máx. temp. de utiliz. Max. service temp.	475° C 885° F				500° C 930° F		550° C 1020° F	560° C 1040° F	575° C 1065° F	600° C 1110° F		625° C 1155° F	650° C 1200° F
ASTM A 106 A 161 A 179 A 192 A 209 A 210 A213 / A335	Gr. A LC A 179 A 192	Gr. B	Gr. C			T1							
						T1							
		Gr. A1	Gr. C			P1	T2/P2	T12/P12		T11/P11	T22/P22		T9/P9
													T91/P91
DIN 17175	St 35.8	St 45.8	17 Mn 4	19 Mn 5	15 Mo 3			13 CrMo 44		10 CrMo 910	14 MoV 63		X20CrMoV121
EN10216-2 Material Nº	1.0305	1.0405	1.0481	1.0482	1.5415	16 Mo 5 1.5423	15NiCuMoNb 65 1.6368	1.7335		1.7380	1.7715	X12CrMo91 1.7386	1.4922
AFNOR NF A 49-213	TU 37-C	TU 42-C	TU 46-C	TU 52-C	TU 1503			TU10CD9.06	TU13CD4.04	TU10CD6.06	TU10CD9.10		TU210CD9
													TU210CDNbV9.2
UNI 5462	C14	C18				16Mo5		14CrMo3		12CrMo910			

ANEXO A.11.

Tabla de temperaturas máximas de trabajo del ASTM

Composición química Chemical composition											Características mecánicas Tensile Requirements			
Calidades Grades	Composición química en % Chemical requirements in %										Características mecánicas Tensile requirements			
	C	Mn	P máx.	S máx.	Si	Cr máx.	Mo máx.	Ni	Al máx.	Otros Others	Resist.N/mm ² T.S. (ksi)	Lim. Elast.N/mm ² Y.S. (Ksi)	A (%) Elong	Otras Notes
ASTM											mín.	mín.	(%)	Máx.
A 106	Gr. A Gr. B Gr. C	≤0.25 ≤0.30 ≤0.35	0.27 - 0.93 0.29 - 1.06 0.29 - 1.06	0.025 0.025 0.025	0.035 0.035 0.035	0.10 mín. 0.10 mín. 0.10 mín.	0.40 0.40 0.40	0.15 0.15 0.15	≤0.40 ≤0.40 ≤0.40	Cu. ≤0.40 V: ≤0.08	330 - 48 415 - 60 485 - 70	205 - 30 240 - 35 275 - 40	35 30 30	
A 161	L C T 1	0.10 - 0.20 0.10 - 0.20	0.30 - 0.80 0.30 - 0.80	0.048 0.045	0.058 0.045	0.25 máx. 0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			342 - 47 379 - 55	179 - 26 207 - 30	35 30	
A 179	179	0.06 - 0.18	0.27 - 0.63	0.048	0.058						325 - 47	180 - 26	35	72 Hr B
A 192	192	0.06 - 0.18	0.27 - 0.63	0.048	0.058	0.25 máx.					325 - 47	180 - 26	35	77 Hr B
A 209	T 1	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			380 - 55	205 - 30		
A 209	T 1 a	0.15 - 0.25	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			415 - 60	220 - 32	30	
A 209	T 1 b	≤0.14	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			365 - 53	195 - 28		
A 210	Gr. A1	≤0.27	≤0.93	0.035	0.035	0.10 mín.					415 - 60	255 - 37	30	79 Hr B
	Gr. C	≤0.35	0.29 - 1.06	0.035	0.035	0.10 mín.					485 - 70	275 - 40	30	89 Hr B
A 333	Gr. 1	0.30	0.40 - 1.06	0.025	0.025						380 - 55	205 - 30	35	
	Gr. B	0.30	0.24 - 1.06	0.025	0.025	0.10 mín.					415 - 60	240 - 35	30	
A 335	P 1	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			380 - 55	205 - 30	30	
A 213	T 2	0.10 - 0.20	0.30 - 0.61	0.025	0.025	0.10 - 0.30	0.50 - 0.81	0.44 - 0.85			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B
A 335	P 2										380 - 55	205 - 30	30	
A 213	T 5	≤0.15	0.30 - 0.60	0.025	0.025	0.50 máx.	4.00 - 6.00	0.45 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B
A 335	P 5										415 - 60	205 - 30	30	
A 213	T 9	≤0.15	0.20 - 0.60	0.025	0.025	0.25 - 1.00	8.00 - 10.00	0.90 - 1.10			415 - 60	205 - 30	30	89 Hr B
A 335	P 9										415 - 60	205 - 30	30	
A 213	T 11	0.05 - 0.15	0.30 - 0.60	0.025	0.025	0.50 - 1.00	1.00 - 1.50	0.44 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B
A 335	P 11										415 - 60	205 - 30	30	
A 213	T 12	0.05 - 0.15	0.30 - 0.61	0.025	0.025	0.50 máx.	0.80 - 1.25	0.44 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B
A 335	P 12										415 - 60	205 - 30	30	
A 213	T 22	0.05 - 0.15	0.30 - 0.60	0.025	0.025	0.50 máx.	1.80 - 2.60	0.87 - 1.13			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B
A 335	P 22										415 - 60	205 - 30	30	
A 213	T 91	0.08 - 0.12	0.30 - 0.60	0.020	0.010	0.20 - 0.50	8.00 - 9.50	0.85 - 1.05	≤0.40	0.40	Y0.16-0.25 C0.09-0.10 N0.006-0.020	585 - 85	415 - 60	20
A 335	P 91													

Fatigas admisibles en tuberías ASTM A 53 según la temperatura

[illegible]

ANEXO A.12. Tablas de tubos de acero sin costura ASTM A-192

Pipe size			Schedule													
Outside Diameter			5		10		20		30		40		60		80	
DN	O.D.	NPS	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m
6	10.3	1/8			1.24	0.28			1.45	0.32	1.73	0.37			2.41	0.47
8	13.7	1/4			1.65	0.49			1.85	0.54	2.24	0.64			3.02	0.80
10	17.1	3/8			1.65	0.63			1.85	0.70	2.31	0.84			3.20	1.10
15	21.3	1/2	1.65	0.80	2.11	1.00			2.41	1.12	2.77	1.27			3.73	1.63
20	26.7	3/4	1.65	1.03	2.11	1.28			2.41	1.44	2.87	1.69			3.91	2.20
25	33.4	1	1.65	1.30	2.77	2.09			2.90	2.18	3.38	2.50			4.55	3.24
32	42.2	1 1/4	1.65	1.65	2.77	2.70			2.97	2.87	3.56	3.39			4.85	4.47
40	48.3	1 1/2	1.65	1.91	2.77	3.11			3.18	3.53	3.68	4.05			5.08	5.41
50	60.3	2	1.65	2.40	2.77	3.93			3.18	4.48	3.91	5.44			5.54	7.48
65	73.0	2 1/2	2.11	3.69	3.05	5.26			4.78	8.04	5.16	8.63			7.01	11.41
80	88.9	3	2.11	4.51	3.05	6.45			4.78	9.92	5.49	11.29			7.62	15.27
100	101.6	3 1/2	2.11	5.18	3.05	7.40			4.78	11.41	5.74	13.57			8.08	18.63
100	114.3	4	2.11	5.84	3.05	8.36			4.78	12.91	6.02	16.07			8.56	22.32
125	141.3	5	2.77	9.47	3.40	11.57					6.55	21.77			9.53	30.97
150	168.3	6	2.77	11.32	3.40	13.84					7.11	28.26			10.97	42.56
200	219.1	8	2.77	14.79	3.76	19.96	6.35	33.31	7.04	36.81	8.18	42.55	10.31	53.08	12.70	64.64
250	273.1	10	3.40	22.63	4.19	27.78	6.35	41.77	7.80	51.03	9.27	60.31	12.70	81.55	15.09	96.01
300	323.9	12	3.96	31.25	4.57	36.00	6.35	49.73	8.38	65.20	10.31	79.73	14.27	108.96	17.48	132.08
350	355.6	14	3.96	34.36	6.35	54.69	7.92	67.90	9.53	81.33	11.13	94.55	15.09	126.71	19.05	158.10
400	406.4	16	4.19	41.58	6.35	62.64	7.92	77.83	9.53	93.27	12.70	123.30	16.66	160.12	21.44	203.53
450	457.0	18	4.19	46.81	6.35	70.57	7.92	87.71	11.13	122.38	14.27	155.80	19.05	205.74	23.83	254.55
500	508.0	20	4.78	59.25	6.35	78.55	9.53	117.15	12.70	155.12	15.09	183.42	20.62	247.83	26.19	311.17
	559.0	22	4.78	65.24	6.35	86.54	9.53	129.13	12.70	171.09			22.23	294.25	28.58	373.83
600	610.0	24	5.54	82.47	6.35	94.53	9.53	141.12	14.27	209.64	17.48	255.41	24.61	355.26	30.96	442.08
	660.0	26			7.92	127.36	12.70	202.72								
700	711.0	28			7.92	137.32	12.70	218.69	15.88	271.21						
	762.0	30	6.35	118.31	7.92	147.28	12.70	234.67	15.88	292.18						
800	813.0	32			7.92	157.24	12.70	250.64	15.88	312.15	17.48	342.91	Some of these dimensions are outside PHIONE's production programme.			
	864.0	34			7.92	167.20	12.70	266.61	15.88	332.12	17.48	364.90				
900	914.0	36			7.92	176.96	12.70	282.27	15.88	351.70	19.05	420.42				
	965.0	38			9.53	228.00	12.70	302.00	15.88	377.00						
1000	1016.0	40			9.53	240.00	12.70	319.00	15.88	397.00						
	1067.0	42			9.53	252.00	12.70	335.00	15.88	417.00						
	1118.0	44			9.53	264.00	12.70	351.00	15.88	438.00						
	1168.0	46			9.53	276.00	12.70	367.00	15.88	458.00						
	1219.0	48			9.53	288.00	12.70	383.00	15.88	478.00						
	1321.0	52			9.53	313.00	12.70	416.00	15.88	518.00						
	1422.0	56			9.53	337.00	12.70	448.00	15.88	558.00						
	1524.0	60			9.53	361.00	12.70	480.00	15.88	599.00						
	1626.0	64			9.53	385.00	12.70	512.00	15.88	639.00						

PHIONELimited
the steel specialist

Tablas de tubos de acero sin costura ASTM A-53 SCH 40

NPS	Outside Diameter mm	Wall Thickness (mm)																						
		1.24	1.45	1.73	2.41																			
1/8	10.3																							
1/4	13.7																							
3/8	17.1																							
1/2	21.3																							
3/4	26.7																							
1	33.4																							
1-1/4	42.2																							
1-1/2	48.3																							
2	60.3																							
2 1/2	73																							
3	88.9																							
3 1/2	101.6																							
4	114.3																							
5	141.3																							
6	168.3																							
8	219.1																							
10	273																							
12	323.8																							
14	355.6																							
16	406.4																							
18	457																							
20	508																							
22	559																							
24	610																							
26	660																							
28	711																							
30	762																							

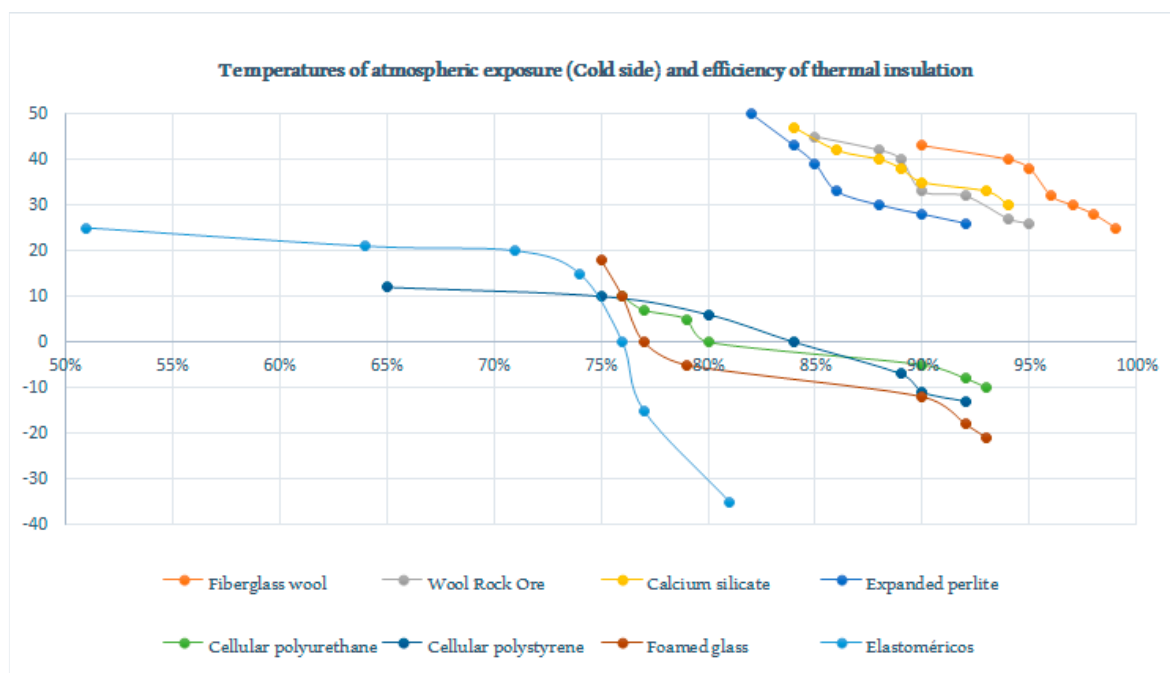
ANEXO A.13. Propiedades de los metales sólidos

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
								174	185		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

ANEXO A.14. Temperatura externa y eficiencia de aislantes.



ANEXO A.15. Ficha técnica del aislante térmico de lana mineral de roca



Jr. Chávez Tueros 1296, Chacra Ríos Sur, Lima1
Telef. 425-9520 / 425-8130 - Telefax: 425-8281
Nextel: 829*7173 / Rpm: #548597
www.gerdipac.com.pe / gerdipac.com.pe

CATALOGO DE PRODUCTOS AISLANTES

Lana Mineral de Roca

Rockwool Board

Los paneles de lana mineral de roca son considerados como el material mas ligero y más económico de los materiales aislantes para uso comercial e industrial. Es útil para aislamiento térmico y acústico y para protección contra fuego en fabricas, plantas de fuerza, calderos, almacenamientos fríos y calientes,



Description	Specification
Densidad	40,60,80,10,150 kg/m ³
Espesor	30,50,80,100 mm
Dimensiones(LxA)	1200 x 600 mm
Conductividad Térmica	0.035w/mk a 70 °C
Protección contra fuego	No combustible, grado A
Resistencia a la Temp.	450 °C
Prueba contra humid.	<95%

Rockwool Pipe



Las cañuelas preformadas de lana mineral de roca son un material económico y ligero, se utilizan para aislamiento térmico y acústico y para protección al fuego en plantas de fuerza, dispositivos de combustible, fábricas, sistemas de aire acondicionado

Description	Specification
Densidad	32,40,48,64 kg/m ³
Espesor	25,30,50 mm
Longitud	1000 mm
Diámetro interno	De 18mm a 4500mm
Conductividad térmica	0.35w/mk a 70 °C
Protección contra fuego	No combustible, gradoA
Resistencia a la Temp.	600 °C
Prueba contra humid.	<95%

Rockwool Blanket

La manta flexible de lana mineral de roca es un material suave y de fácil instalación. Se usa para la protección contra fuego y aislamiento térmico y acústico en depósitos de combustible de grandes dimensiones, calderos, techos, etc. Puede venir con o sin refuerzo de malla metálica galvanizada.

Description	Specification
Densidad	60,80,100,120 kg/m ³
Espesor	40,50,60,70,80,100 mm
Dimensiones(LxA)	5000*600,5000*910 mm
Conductividad Térmica	0.035w/mk a 70 °C
Protección contra fuego	No combustible, grado A
Resistencia a la Temp.	600 °C
Prueba contra humid.	<95%



ANEXO A.16. Peso específico del acero

SOLIDO	DENSIDAD	PESO ESPECIFICO
	grs/cm ³	N/m ³
POLIURETANO	0,04	392
CORCHO	0,24	2.350
PINO	0,31 - 0,76	3.040-7.450
HAYA	0,66 - 0,83	6.470-8.135
ENCINA	0,69 - 1,03	6.760-10.100
ROBLE	0,81 - 1,07	7.940-10.485
HIELO	0,92	9.015
CAUCHO	0,95	9.310
MAGNESIO	1,74	17.050
LADRILLOS	1,84	18.030
ALABASTRO	2,3	22.540
HORMIGON	2,4 -2,5	23.520-24.500
VIDRIO	2,5	24.500
CUARZO	2,5 - 2,8	24.500-27.440
MARMOL ORDINARIO	2,5 - 2,85	24.500-27.930
GRANITO	2,51 - 3,05	24.600-29.890
ALUMINIO	2,7	26.460
DIAMANTE	3,52	34.496
ESTAÑO	7,31	71.640
BRONCE	7,4	72.520
ACERO	7,65	76.500
HIERRO	7,87	77.165
LATON	8,6	84.280
COBRE	8,96	87.810
PLATA	10,50	102.900
PLOMO	11,34	111.130
URANIO	19,05	186.690
ORO	19,3	189.140
PLATINO	21,45	210.700

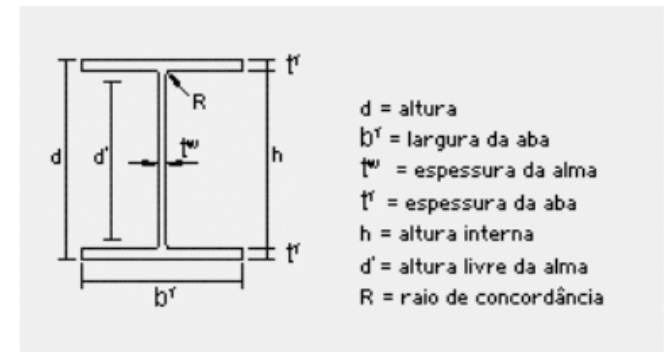


ANEXO A.17. Constantes físicas de los materiales

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso específico w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg ³	lbf/ft ³	kN/m ³
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata niquelada	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4

ANEXO A.18. Tabla de perfiles estructurales











PERFIL W

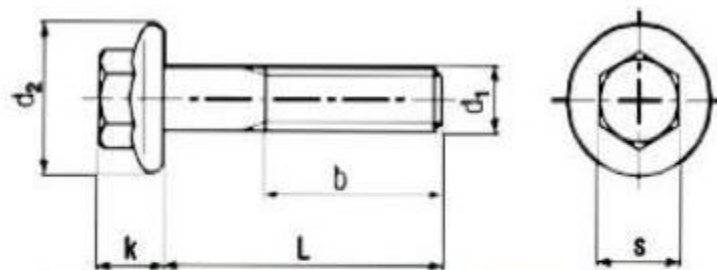
Designación del PERFIL mm x kg/m	Masa Nominal kg/m	Altura h mm	Ala b mm	ESPESOR		h'	d'	Sección Nominal cm ²									r _y cm	I _y cm ⁴	ABA - λ_y		C _w cm ⁶	u m ² /m	Designación del PERFIL mm x kg/m
				alma mm	ala t mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			ABA - λ_y b _y / 2t _a	ALMA - λ_x d' / t _w			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 150 x 13,0
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 150 x 18,0
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 150 x 24,0
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 200 x 15,0
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 200 x 19,3
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 200 x 22,5
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 200 x 26,6
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 200 x 31,3
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13.735	0,88	W 250 x 17,9
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18.629	0,89	W 250 x 22,3
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22.955	0,89	W 250 x 25,3
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27.636	0,90	W 250 x 28,4
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73.104	1,07	W 250 x 32,7
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93.242	1,08	W 250 x 38,5
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112.398	1,09	W 250 x 44,8
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21.628	0,98	W 310 x 21,0
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25.594	0,99	W 310 x 23,8
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35.441	1,00	W 310 x 28,3
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43.612	1,00	W 310 x 32,7
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163.728	1,25	W 310 x 38,7
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194.433	1,26	W 310 x 44,5
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236.422	1,27	W 310 x 52,0

W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84.111	1,17	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,8	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.201,5	1.205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.362,7	1.379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.518,6	1.559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.731,7	1.804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 410 x 85,0
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21.370	949,8	17,91	1.095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304.837	1,47	W 460 x 52,0
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25.652	1.127,6	18,35	1.292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387.230	1,49	W 460 x 60,0
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29.851	1.300,7	18,46	1.495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461.163	1,50	W 460 x 68,0
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33.415	1.462,4	18,77	1.657,4	1.661	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	811.417	1,64	W 460 x 74,0
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37.157	1.615,5	18,84	1.836,4	1.862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915.745	1,64	W 460 x 82,0
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41.105	1.775,6	18,98	2.019,4	2.093	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1.035.073	1,65	W 460 x 89,0
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44.658	1.916,7	19,03	2.187,4	2.283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1.137.180	1,66	W 460 x 97,0
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48.978	2.088,6	19,04	2.394,6	2.515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1.260.063	1,67	W 460 x 106,0
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34.971	1.332,2	20,46	1.558,0	857	103,9	3,20	166,0	4,02	31,52	7,24	53,73	562.854	1,67	W 530 x 66,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39.969	1.525,5	20,89	1.755,9	1.615	156,0	4,20	244,6	5,16	33,41	9,50	53,13	1.060.548	1,84	W 530 x 72,0
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40.969	1.548,9	20,76	1.804,9	1.041	125,5	3,31	200,1	4,10	47,39	6,10	49,26	688.558	1,68	W 530 x 74,0
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47.569	1.801,8	21,34	2.058,5	2.028	194,1	4,41	302,7	5,31	51,23	7,86	50,25	1.340.255	1,85	W 530 x 82,0
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48.453	1.811,3	21,21	2.099,8	1.263	152,2	3,42	241,6	4,17	72,93	5,03	46,41	845.463	1,69	W 530 x 85,0
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55.157	2.069,7	21,65	2.359,8	2.379	227,6	4,50	354,7	5,36	75,50	6,70	46,84	1.588.565	1,86	W 530 x 92,0
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62.198	2.316,5	21,87	2.640,4	2.693	256,5	4,55	400,6	5,40	106,04	6,03	43,14	1.812.734	1,86	W 530 x 101,0
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67.226	2.494,5	21,94	2.847,0	2.952	279,8	4,60	437,4	5,44	131,38	5,61	40,47	1.991.291	1,87	W 530 x 109,0
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	77.003	2.554,0	24,31	2.922,7	2.951	258,8	4,76	405,0	5,76	81,68	7,65	51,54	2.544.966	2,07	W 610 x 101,0
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	88.196	2.901,2	24,64	3.312,9	3.426	300,5	4,86	469,7	5,82	116,50	6,59	48,34	2.981.078	2,08	W 610 x 113,0
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	99.184	3.241,3	24,89	3.697,3	3.933	343,5	4,96	536,3	5,89	159,50	5,84	45,45	3.441.766	2,09	W 610 x 125,0
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	112.619	3.650,5	25,06	4.173,1	4.515	392,6	5,02	614,0	5,94	225,01	5,18	41,27	3.981.687	2,10	W 610 x 140,0
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	129.583	4.241,7	25,58	4.749,1	10.783	665,6	7,38	1022,6	8,53	200,77	8,53	42,60	9.436.714	2,47	W 610 x 155,0
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	147.754	4.797,2	25,75	5.383,3	12.374	761,5	7,45	1171,1	8,58	286,88	7,52	38,63	10.915.665	2,48	W 610 x 174,0

ANEXO A.19. Ficha técnica de clases de pernos

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	



Diameter	M6	M8	M10	M12	M16
b	18	22	26	30	38
d ₂ max.	14	18	22.3	26.6	35
k max.	6.6	8.1	9.2	11.5	14
s max.	10	13	15	16	21

ANEXO A.20. Propiedades termofísicas de los materiales

Materiales	Densidad ρ (Mg/m ³)	Módulo de elasticidad E (GPa)	Módulo de rigidez G (GPa)	Resistencia a la cedencia (MPa) σ_y			Resistencia última (MPa) σ_u			% de elongación en probeta de 50 mm	Razón de Poisson ν	Coeficiente de ex- pansión térmica α (10 ⁻⁶)/°C	
				Tens.	Comp. ^b	Cortante	Tens.	Comp. ^b	Cortante				
Metálicos													
Aleaciones de aluminio forjado	2014-T6 6061-T6	2.79	73.1	27	414	414	172	469	469	290	10	0.35	23
		2.71	68.9	26	255	255	131	290	290	186	12	0.35	24
Aleaciones de hierro fundido	Gris ASTM 20 Maleable ASTM A-197	7.19	67.0	27	–	–	–	179	669	–	0.6	0.28	12
		7.28	172	68	–	–	–	276	572	–	5	0.28	12
Aleaciones de cobre	Latón rojo C83400 Bronce C86100	8.74	101	37	70.0	70.0	–	241	241	–	35	0.35	18
		8.83	103	38	345	345	–	655	655	–	20	0.34	17
Aleaciones de magnesio	[Am 1004-T61]	1.83	44.7	18	152	152	–	276	276	152	1	0.30	26
Aleaciones de acero	Estructural A36 Inoxidable 304 De herramienta L2	7.85	200	75	250	250	–	400	400	–	30	0.32	12
		7.86	193	75	207	207	–	517	517	–	40	0.27	17
		8.16	200	75	703	703	–	800	800	–	22	0.32	12
Aleación de titanio	[Ti-6Al-4V]	4.43	120	44	924	924	–	1,000	1,000	–	16	0.36	9.4
No metálicos													
Concreto	De baja resistencia De alta resistencia	2.38	22.1	–	–	–	12	–	–	–	–	0.15	11
		2.38	29.0	–	–	–	38	–	–	–	–	0.15	11
Plástico reforzado	Kevlar 49 Vidrio al 30%	1.45	131	–	–	–	–	717	483	20.3	2.8	0.34	–
		1.45	72.4	–	–	–	–	90	131	–	–	0.34	–
Madera de grado estructural	Abeto Douglas Abeto blanco	0.47	13.1	–	–	–	–	2.1 ^c	26 ^d	6.2 ^d	–	0.29 ^e	–
		3.60	9.65	–	–	–	–	2.5 ^c	36 ^d	6.7 ^d	–	0.31 ^e	–

ANEXO A.21. Esfuerzo admisible según el tipo de terrenos

Naturaleza	Esfuerzo admisible KPa
Roca dura solida	2400
Pizarra o roca mediana	960
Roca blanda	480
Arcilla dura o grava compacta	380
Arcilla blanda o arena suelta	100

ANEXO A.22. Diámetro nominal según el coeficiente de válvula

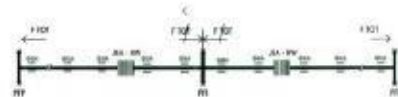
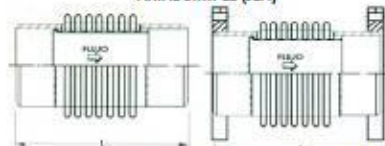
DN	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
Kv	130	200	390	600	1000	1800	2900	6000	10000	16000	16000	30000

ANEXO A.23. Ficha de juntas de expansión

JUNTAS METÁLICAS: APLICACIONES

Bombas, Compresoras, Calderos, Turbinas, Líneas de Vapor, Instalaciones de Aceites Térmicos, Reactores, sistemas de Escape de Gases, Hornos, Torres de Cracking, Intercambiadores de calor.

AXIAL SIMPLE (JEA)



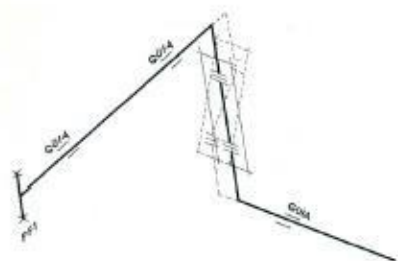
Diámetro Nominal		JUNTAS DE EXPANSION AXIAL PARA ABSORBER DILATACIÓN EN mm					
		Longitud L con bridas			Longitud L con PPS		
Pulg.	mm	25	38	50	25	38	50
1/4"	15	185	235	380	175	225	370
3/8"	20	190	240	385	180	230	375
1"	25	200	250	395	185	235	380
1 1/4	32	205	255	400	190	240	385
1 1/2	40	210	260	405	195	245	390
2	50	220	270	410	205	255	395
2 1/2	65	230	285	415	215	270	400
3	80	235	285	415	215	270	400
4	100	250	305	435	230	285	415
5	125	280	340	460	255	315	435
6	150	285	350	475	265	325	450
8	200	265	305	335	240	280	310
10	250	265	305	335	240	280	310
12	300	265	305	345	240	280	320
14	350	275	315	355	250	290	330
16	400	285	325	365	260	310	340
18	450	285	325	365	260	310	340
20	500	285	325	365	260	310	340



AXIAL SIMPLE ANTIPANDEO



UNIVERSAL SIMPLE (JEUS)



Anexo A.24. Presión del viento según el national building code (NBC)

Carga del viento

Altura (m)	Presión KPa
< 9	0.75
9.1 a 14.9	1
15 a 30	1.25
30.1 a 150	1.50

Anexo A.25. Factor de multiplicación según la forma

Factor de multiplicación

Forma	Factor
Rectangular o cuadrada	1
Hexágono u octogonal	0.8
Redonda o elíptica	0.6

Anexo A.26. Tamaños de garganta de soldadura

Tamaños mínimos de soldaduras de filete		
Espesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.)		Tamaño ¹ mínimo del filete mm (pulg.)
menor o igual que 6.3	($\leq \frac{1}{4}$)	3.2 ($\frac{1}{8}$)
más de 6.3 hasta 12.7	($\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$)	4.8 ($\frac{3}{16}$)
más de 12.7 hasta 19.1	($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$)	6.3 ($\frac{1}{4}$)
mayor que 19.1	($> \frac{3}{4}$)	7.9 ($\frac{5}{16}$)
¹ Dimensión de la pierna del filete de soldadura. Deben usarse soldaduras depositadas en un solo paso.		

Anexo A.27. Propiedades de los perfiles de soldadura sometidos a flexión

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

* I_u , unit second moment of area, is taken about a horizontal axis through G, the centroid of the weld group, h is weld size, the plane of the bending couple is normal to the plane of the paper and parallel to the y -axis; all welds are of the same size.

ANEXO A.28. Ficha técnica del electrodo E7018



INDURA®
Tecnología a su servicio
GASES • SOLDADURAS • EQUIPOS

Indura 7018 - AR	Clasificación AWS: E-7018
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo para acero al carbono • Con hierro en polvo • Toda posición • Corriente continua. Electrodo positivo • Revestimiento: Gris 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobado anualmente por el Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd y Det Norske Veritas.

Descripción

El electrodo 7018-AR es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad. Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

Usos

El 7018-RH es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías. Por sus buenas propiedades físicas es ideal para ser usado en astilleros.

Aplicaciones típicas

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Luken 45 y 50
- Yolo y otros aceros estructurales de baja aleación.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, se debe usar un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En la soldadura en posición de sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

Composición química (típica del metal depositado):

C 0,06%; Mn 1,00%; P 0,012%; S 0,015%; Si 0,48%

Características típicas del metal depositado:

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):







Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:

Resistencia a la tracción :	73.000 lb/pulg ² (453 MPa)	70.000 lb/pulg ² (414 MPa)
Límite de fluencia :	63.300 lb/pulg ² (384 MPa)	58.000 lb/pulg ² (331 MPa)
Alargamiento en 50 mm. :	30%	22%

Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	max.	
3/32	2,4	12	300	70	120	65
1/8	3,2	14	350	120	150	32
5/32	4,0	14	350	140	200	19
3/16	4,8	14	350	200	275	14

ANEXO A.29. Eficiencias de soldaduras

EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"				
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CANTIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.85
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

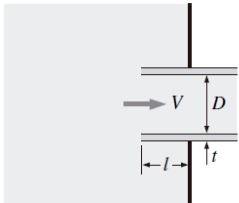
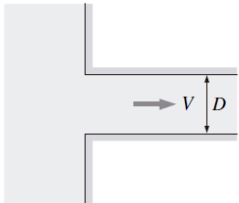
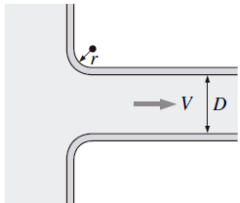
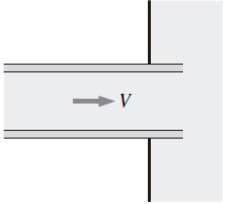
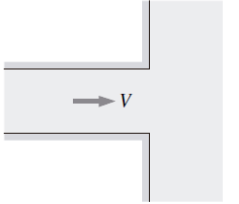
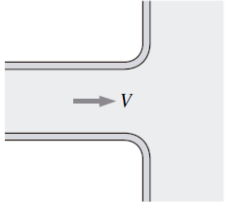
Anexo A.30. Ficha técnica de la torre de enfriamiento



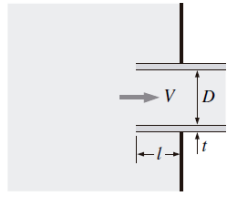
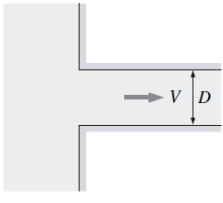
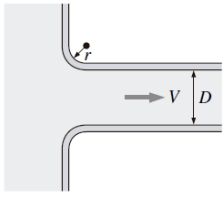
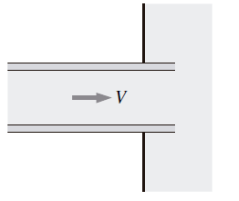
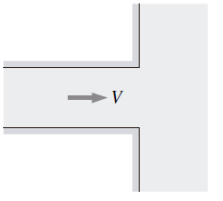
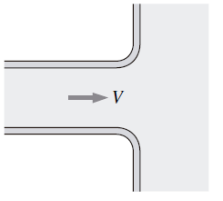
CLIENTE		EMPRESA AGROINDUSTRIAL EL INGENIO S.A			
Torre de Enfriamiento modelo "SICREA COOLPACK SR 2920/OU-7T-C70.34"					
Pos.					
1,0	<u>Datos Técnicos</u>				
1,1	<u>TORRE DE ENFRIAMIENTO</u>		- Acero Inoxidable - AISI 304		
1.1.1	<u>Datos de rendimiento:</u>				
	⇒ Calor disipado	kcal/h	43 806 680	kW	50 938
	⇒ Caudal de agua			m³/h	3 650
	⇒ Temp. de agua entrada			°C	48
	⇒ Temp. de agua salida			°C	35
	⇒ Temp. de bulbo húmedo			°C	24
1.1.2	<u>Datos de operación:</u>				
	⇒ Reposición de agua (sin purga continua)			m³/h	73,0
	⇒ Presión tobera			bar	2,85
	⇒ Presión hidráulica			bar	0,75
	Garantizamos los datos de acuerdo con "VDI cooling tower standard DIN 1947"				
1.1.3	<u>Datos del motor - ventilador:</u>				
	⇒ Potencia del motor			7 x kW	30,0
	⇒ Potencia absorbida por el ventilador			7 x kW	26,6
	⇒ Velocidad del motor			7 x rpm	1 467
	⇒ Velocidad del ventilador			7 x rpm	385
	⇒ Voltaje			V	3 x 525
	⇒ Frecuencia			Hz	50
	⇒ Protección: - del motor			IP	55
	- caja bornera			IP	55
1.1.4	<u>Dimensiones y pesos:</u>				
	⇒ Largo			mm	6 000
	⇒ Ancho			mm	4 800
	⇒ Alto			mm	5 600
	⇒ Peso neto			kg	
	⇒ Peso en operación			kg	

Anexo A.31. Coeficiente de pérdidas por accesorios

Coeficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2g)$, do de V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

<p><i>Entrada de la tubería</i> <i>Reentrante: $K_L = 0.80$</i> <i>($t \ll D$ e $l \approx 0.1D$)</i></p> 	<p><i>De borde agudo: $K_L = 0.50$</i></p> 	<p><i>Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$</i> <i>Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0$.</i> <i>(véase figura 8-36)</i></p> 
<p><i>Salida de la tubería</i> <i>Reentrante: $K_L = \alpha$</i></p> 	<p><i>De borde agudo: $K_L = \alpha$</i></p> 	<p><i>Redondeada: $K_L = \alpha$</i></p> 

Nota: el factor de corrección de energía cinética es $\alpha = 2$ para flujo laminar totalmente desarrollado, y $\alpha \approx 1$ para flujo turbulento totalmente desarrollado.

<p><i>Entrada de la tubería</i> <i>Reentrante: $K_L = 0.80$</i> <i>($t \ll D$ e $l \approx 0.1D$)</i></p> 	<p><i>De borde agudo: $K_L = 0.50$</i></p> 	<p><i>Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$</i> <i>Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$</i> <i>(véase figura 8-36)</i></p> 
<p><i>Salida de la tubería</i> <i>Reentrante: $K_L = \alpha$</i></p> 	<p><i>De borde agudo: $K_L = \alpha$</i></p> 	<p><i>Redondeada: $K_L = \alpha$</i></p> 

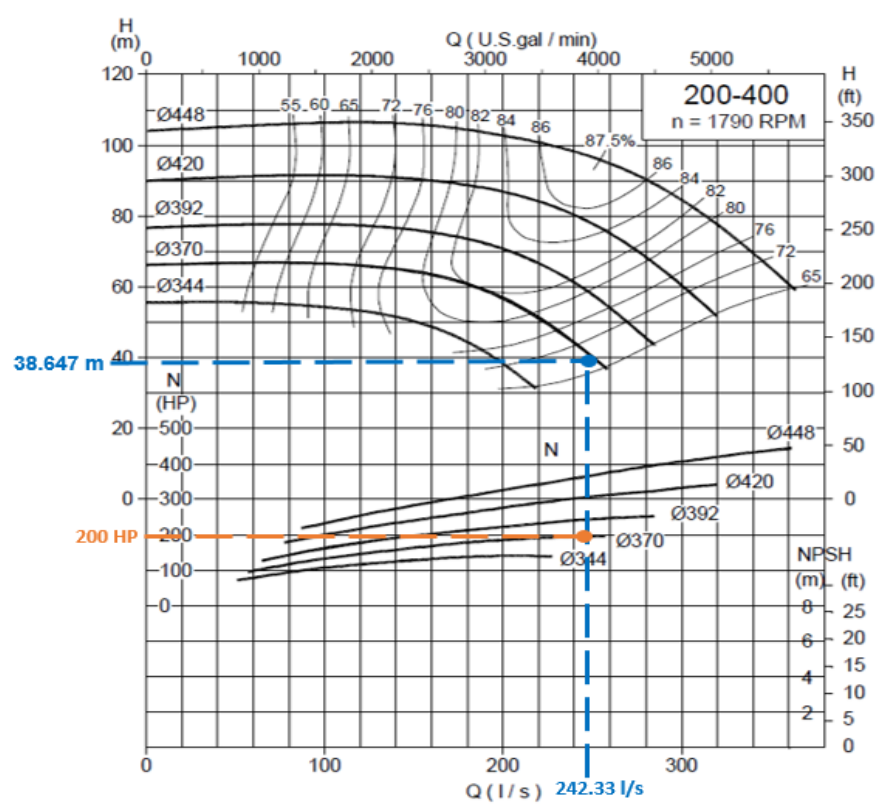
Nota: el factor de corrección de energía cinética es $\alpha = 2$ para flujo laminar totalmente desarrollado, y $\alpha \approx 1$ para flujo turbulento totalmente desarrollado.

Válvulas

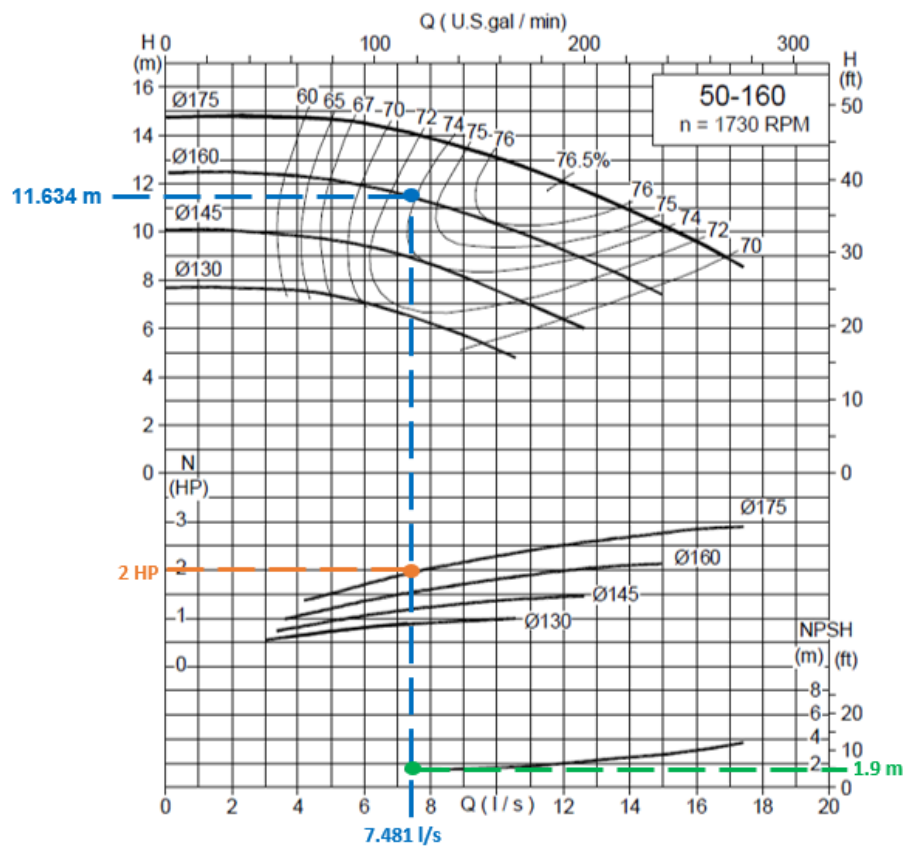
Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$
Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$
Válvula de charnela: $K_L = 2$

Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$
 $\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$
 $\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$
 $\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$

Anexo A.32. Ficha técnica de la bomba centrífuga 200-400



Anexo A.33. Ficha técnica de la bomba centrífuga 50-160



Anexo A.34. Ficha técnica del motor eléctrico W22 -IE 3 de 250 Hp

W22 - IE3 Premium Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado Tl/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	380 V							
								Caliente	Frío			RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)
													Rendimiento			Factor de potencia			
kW	HP												50	75	100	50	75	100	

N Polos

0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,7	3,3	0,0005	48	106	6,7	48	1725	58,0	64,0	66,0	0,45	0,56	0,65	0,425
0,18	0,25	63	0,103	5,0	2,5	3	0,0006	39	86	7,7	48	1710	62,0	67,0	70,0	0,49	0,61	0,70	0,558
0,25	0,33	63	0,142	5,5	2,9	3,2	0,0007	30	66	8,2	48	1710	66,0	71,0	73,4	0,46	0,59	0,69	0,750
0,37	0,5	71	0,213	5,1	2,8	2,9	0,0007	52	114	8,5	47	1690	75,0	77,5	78,2	0,49	0,62	0,70	1,03
0,75	1	90S	0,416	7,6	2,6	3,2	0,0049	24	53	18,5	51	1755	80,0	84,0	85,5	0,60	0,72	0,79	1,69
1,1	1,5	L90S	0,610	7,6	2,7	3,2	0,0060	18	40	22,0	51	1755	82,5	85,5	86,5	0,60	0,73	0,80	2,42
1,5	2	L90S	0,832	7,7	2,8	3,3	0,0066	15	33	23,0	51	1755	84,0	86,0	86,5	0,59	0,72	0,80	3,29
2,2	3	100L	1,23	7,6	3,8	3,7	0,0097	24	53	33,0	54	1740	86,6	88,2	89,5	0,59	0,72	0,79	4,72
3	4	112M	1,66	7,8	2,6	3,5	0,0156	27	59	42,0	56	1760	87,2	89,0	89,5	0,58	0,70	0,79	6,45
3,7	5	112M	2,05	7,6	2,4	3,3	0,0181	23	51	44,0	56	1755	88,1	89,3	89,5	0,61	0,74	0,80	7,85
4,5	6	112M	2,51	7,0	2,4	3	0,0180	17	37	44,0	56	1745	88,7	89,5	89,5	0,61	0,74	0,80	9,55
5,5	7,5	132S	3,04	8,4	2,4	3,6	0,0488	16	35	67,0	58	1765	89,9	91,2	91,7	0,63	0,76	0,82	11,1
7,5	10	132S	4,14	8,2	2,3	3,5	0,0563	13	29	72,0	58	1765	90,8	91,6	92,0	0,66	0,78	0,84	14,7
9,2	12,5	132M/L	5,08	8,5	2,4	3,5	0,0676	9	20	86,0	58	1765	91,0	91,8	92,4	0,66	0,78	0,84	18,1
11	15	160M	6,04	7,6	2,9	3,4	0,1188	15	33	112	64	1775	90,6	92,4	92,7	0,63	0,75	0,81	22,2
15	20	160M	8,23	7,7	3	3,5	0,1471	13	29	133	64	1775	91,6	93,2	93,4	0,64	0,75	0,82	29,8
18,5	25	160L	10,2	7,3	2,7	3,2	0,1813	12	26	148	64	1770	92,4	93,6	93,8	0,64	0,75	0,81	36,9
22	30	180M	12,1	7,2	3	3	0,1919	20	44	176	64	1775	93,0	93,8	94,0	0,66	0,76	0,81	43,9
30	40	200M	16,5	6,6	2,5	2,8	0,3202	22	48	215	66	1775	93,6	94,2	94,4	0,70	0,79	0,84	57,4
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	243	66	1775	94,0	94,5	94,6	0,70	0,80	0,84	70,7
45	60	225S/M	24,6	7,5	2,4	2,8	0,6367	14	31	404	67	1780	94,2	94,7	95,1	0,71	0,80	0,85	84,5
55	75	225S/M	30,1	7,5	2,4	2,8	0,7346	12	26	430	67	1780	94,5	95,0	95,4	0,74	0,83	0,87	101
75	100	250S/M	41,0	8,5	3,4	3,6	1,01	12	26	505	68	1780	94,6	95,2	95,5	0,68	0,78	0,85	140
90	125	280S/M	49,1	7,2	2	2,7	1,87	24	53	683	73	1785	94,7	95,3	95,6	0,75	0,83	0,86	167
110	150	280S/M	60,0	7,9	2,4	2,9	2,33	20	44	753	73	1785	94,8	95,5	95,8	0,75	0,83	0,86	203
132	180	315S/M	71,8	7,4	2,4	2,6	3,00	24	53	958	75	1790	94,5	95,5	96,2	0,74	0,82	0,86	243
150	200	315S/M	81,6	7,8	2,7	2,7	3,55	20	44	1029	75	1790	94,9	95,9	96,2	0,73	0,82	0,86	276
185	250	315S/M	101	7,6	2,4	2,5	3,89	20	44	1072	75	1790	95,3	96,0	96,3	0,75	0,83	0,87	336
200	270	355M/L	109	7,4	2,3	2,4	5,76	25	55	1388	78	1790	95,4	96,1	96,3	0,76	0,83	0,86	367
220	300	355M/L	120	7,3	2,5	2,4	6,30	22	48	1438	78	1790	95,6	96,2	96,4	0,77	0,84	0,87	398
260	350	355M/L	141	7,3	2,3	2,3	7,20	20	44	1519	78	1790	95,8	96,4	96,5	0,78	0,85	0,87	470
300	400	355M/L	163	7,8	2,5	2,4	8,09	12	26	1615	78	1790	95,9	96,4	96,6	0,76	0,84	0,87	542
330	450	355M/L	180	7,8	2,6	2,6	9,51	14	31	1751	78	1790	96,0	96,5	96,7	0,73	0,82	0,86	603
370	500	355M/L	201	7,6	2,7	2,4	11,1	18	40	1916	78	1790	96,3	96,6	96,8	0,74	0,83	0,86	675
400	550	355M/L	218	7,4	2,4	2,4	11,6	15	33	1966	78	1790	96,3	96,6	96,8	0,74	0,83	0,86	731

Anexo A.35. Ficha técnica del motor eléctrico W22 -IE 1 de 2 Hp

W22 - IE1 Standard Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado T/In	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	220 V								Corriente nominal In (A)
								RPM	% de la potencia nominal											
									Rendimiento			Factor de potencia								
KW	HP							Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100			
IV Polos																				
0,09	0,12	63	0,051	5,2	3,2	3,4	0,0003	22	48	7,0	48	1725	45,0	53,0	55,0	0,44	0,52	0,61	0,704	
0,12	0,16	63	0,068	4,5	2,1	2,4	0,0004	25	55	8,0	48	1730	53,0	60,0	62,0	0,43	0,55	0,64	0,794	
0,18	0,25	63	0,103	4,9	2,9	2,9	0,0004	26	57	8,0	48	1710	56,0	63,0	66,0	0,40	0,54	0,65	1,10	
0,25	0,33	63	0,145	4,5	2,3	2,3	0,0006	20	44	8,0	48	1680	64,0	66,0	68,0	0,50	0,64	0,73	1,32	
0,37	0,5	71	0,212	4,6	2,4	2,7	0,0007	12	26	10,5	47	1700	63,0	69,0	70,0	0,44	0,56	0,67	2,07	
0,55	0,75	71	0,323	5,3	2,5	2,5	0,0008	12	26	11,5	47	1660	73,0	73,5	74,0	0,50	0,63	0,72	2,71	
0,75	1	80	0,422	6,8	2,4	2,7	0,0032	9	20	12,5	48	1730	75,0	78,0	78,2	0,63	0,76	0,82	3,07	
1,1	1,5	80	0,627	6,4	2,5	2,8	0,0030	9	20	14,0	48	1710	76,0	79,0	79,2	0,61	0,74	0,81	4,50	
1,5	2	90S	0,845	6,4	2,1	2,6	0,0049	10	22	18,5	51	1730	80,5	81,5	82,0	0,59	0,71	0,79	6,08	
2,2	3	90L	1,25	5,7	2,1	2,4	0,0060	9	20	22,0	51	1720	82,0	83,0	83,1	0,62	0,74	0,81	8,58	
3	4	100L	1,70	6,8	2,4	2,7	0,0097	7	15	30,0	54	1720	83,5	84,0	84,1	0,63	0,77	0,83	11,3	
3,7	5	100L	2,11	6,4	2,7	2,9	0,0097	11	24	33,0	54	1710	85,0	85,5	85,5	0,63	0,75	0,81	14,0	
4,5	6	112M	2,50	7,2	2,1	2,8	0,0182	8	18	42,0	58	1750	84,5	86,0	86,2	0,61	0,73	0,79	16,6	
5,5	7,5	112M	3,08	6,0	2	2,7	0,0167	11	24	43,0	58	1740	86,0	87,0	87,0	0,61	0,74	0,80	20,6	
7,5	10	132S	4,15	7,2	2	2,8	0,0528	8	18	63,0	61	1760	86,5	88,0	87,5	0,67	0,78	0,83	27,2	
9,2	12,5	132M	5,11	6,4	1,9	2,5	0,0642	8	18	70,0	61	1755	88,0	88,5	88,0	0,69	0,79	0,84	33,0	
11	15	132M	6,10	8,3	2,3	2,8	0,0563	6	13	73,0	61	1755	87,0	88,5	88,6	0,68	0,80	0,83	39,2	
15	20	160M	8,28	6,2	2,1	2,6	0,1046	9	20	105	69	1765	89,0	90,2	90,2	0,68	0,79	0,84	52,0	
18,5	25	160L	10,2	6,3	2,2	2,7	0,1258	9	20	122	69	1765	89,5	91,0	91,0	0,68	0,79	0,84	63,6	
22	30	180M	12,2	6,0	2,2	2,5	0,1392	12	26	150	68	1760	89,6	91,0	91,1	0,68	0,79	0,84	75,4	
30	40	200M	16,5	6,0	2	2,4	0,2406	12	26	195	71	1770	91,0	91,8	91,8	0,71	0,80	0,85	101	
37	50	200L	20,4	6,0	2	2,4	0,2918	12	26	222	71	1770	92,0	92,5	92,5	0,71	0,81	0,85	123	
45	60	225S/M	24,7	6,8	2,3	2,6	0,4914	10	22	367	75	1775	92,3	93,1	93,1	0,75	0,83	0,87	146	
55	75	225S/M	30,2	6,9	2,3	2,6	0,5632	9	20	386	75	1775	92,8	93,4	93,3	0,75	0,83	0,87	178	
75	100	250S/M	41,2	7,0	2,4	2,7	0,8767	10	22	470	75	1775	93,0	93,6	93,6	0,75	0,84	0,88	238	
90	125	280S/M	49,2	6,5	1,9	2,3	1,47	17	37	625	80	1780	93,0	93,9	94,0	0,74	0,82	0,86	292	
110	150	280S/M	60,2	7,3	2,2	2,3	1,87	16	35	684	80	1780	93,2	94,1	94,3	0,74	0,83	0,86	356	
132	180	315S/M	71,8	6,5	2	2,3	2,33	24	53	880	82	1790	93,0	94,3	94,6	0,73	0,81	0,85	430	
132	180	315S/M	71,8	6,5	2	2,3	2,33	24	53	880	82	1790	93,0	94,3	94,6	0,73	0,81	0,85	430	
150	200	315S/M	81,6	6,8	2	2,4	2,88	20	44	947	82	1790	93,5	94,5	94,7	0,74	0,83	0,86	484	
185	250	315S/M	101	6,6	2,1	2,3	3,42	17	37	1018	82	1790	94,0	94,6	94,8	0,75	0,83	0,86	596	
200	270	315S/M	109	7,3	2,3	2,3	3,76	18	40	1062	82	1790	94,2	94,8	95,0	0,76	0,83	0,86	642	
220	300	315L	120	6,6	2,3	2,4	5,80	16	35	1180	79	1790	94,4	94,9	95,2	0,75	0,83	0,86	706	
260	350	315L	141	7,6	2,6	2,6	6,86	13	29	1287	79	1790	94,6	95,2	95,4	0,75	0,83	0,87	822	
300	400	315L	163	7,7	2,7	2,6	8,12	14	31	1398	79	1790	94,2	94,7	95,2	0,76	0,84	0,87	950	
330	450	355M/L	180	7,6	2,1	2,3	8,61	19	42	1662	83	1790	95,2	95,6	95,7	0,77	0,83	0,86	1050	
370	500	355M/L	201	7,6	2,6	2,6	10,2	12	26	1833	83	1790	95,3	95,7	95,8	0,75	0,82	0,85	1190	
400	550	355M/L	218	7,3	2,5	2,6	11,1	14	31	1916	83	1790	95,4	95,8	95,9	0,74	0,82	0,86	1270	
440	600	355M/L	239	7,1	2,2	2,5	11,6	16	35	1966	83	1790	95,5	95,9	96,0	0,74	0,82	0,86	1430	

Anexo A.36. Tabla de calibres AWG

COMPARACIÓN ENTRE LOS CALIBRES AMERICANOS Y EUROPEOS DE CABLES Y CONDUCTORES

CALIBRE AMERICANO		CALIBRE METRICO (europeo)
AWG - MCM	mm ²	mm ²
30 AWG	0.0509	0.05
28	0.0810	0.10
26	0.1288	
24	0.2047	0.25
22	0.3255	0.50
20	0.5176	0.75
18	0.8231	1.00
16	1.3090	1.50
14	2.081	2.5
12	3.309	4.0
10	5.261	6.0
8	8.366	10.0
6	13.30	16
4	21.15	25
2	33.63	35
1	42.41	50
1/0	53.48	70
2/0	67.43	70
3/0	85.03	95
4/0	107.20	120
250 MCM	126.7	150
300	151	185
350	177	185
400	202	240
500	253	300
600	303	400
700	354	400
750	380	400
800	407	500
900	455	500

Anexo A.37. Tabla de calibres INDECO N2XSy 8.7/15 kV

PARAMETROS FISICOS

SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMET CONDUCT	ESPESOR		DIAMETRO EXTERIOR	PESO
			AI SLAM.	CUBIERTA		
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km
25	7	5.88	4.5	1.8	22.0	773
35	7	6.92	4.5	1.8	23.1	890
50	19	8.15	4.5	1.8	24.3	1032
70	19	9.78	4.5	1.8	26.0	1262
95	19	11.55	4.5	1.8	27.7	1549
120	37	13	4.5	1.9	29.4	1823
150	37	14.41	4.5	1.9	30.6	2106
185	37	16.16	4.5	2	32.5	2505
240	37	18.51	4.5	2.1	35.1	3107
300	37	20.73	4.5	2.2	37.5	3742
500	61	26.57	4.5	2.4	43.9	5702

PARAMETROS ELECTRICOS

SECCION NOMINAL	RESISTENCIA DC a 20°C	RESISTENCIA AC		REACTANCIA INDUCTIVA		AMPACIDAD ENTERRADO (20°C)		AMPACIDAD AIRE (30°C)	
		(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
mm ²	Ohm/Km	Ohm/Km	Ohm/Km	Ohm/Km	Ohm/Km	(A)	(B)	(A)	(B)
25	0.727	0.927	0.927	0.2964	0.1713	180	160	195	165
35	0.524	0.668	0.669	0.2849	0.1627	215	190	235	200
50	0.387	0.494	0.494	0.2704	0.1513	250	225	280	240
70	0.268	0.342	0.342	0.2579	0.1426	305	275	350	295
95	0.193	0.247	0.247	0.2474	0.1365	360	325	420	360
120	0.153	0.196	0.196	0.2385	0.1305	405	370	485	410
150	0.124	0.159	0.160	0.2319	0.1264	445	410	540	465
185	0.0991	0.127	0.128	0.2250	0.1230	495	460	615	530
240	0.0754	0.098	0.099	0.2160	0.1177	570	535	720	625
300	0.0601	0.078	0.08	0.2091	0.1139	630	600	815	715
500	0.0366	0.050	0.053	0.1957	0.1081	750	745	1010	925